

---

# IAEA 安全基準

人と環境を防護するために

---

## 原子炉等施設の立地評価 における気象学的及び 水文学的ハザード

共同策定

IAEA、WMO

個別安全指針

---

No. SSG-18

国際原子力機関

2022年 3月

原子力規制庁 翻訳

## 本翻訳版発行に当たっての注記事項

- A：本翻訳版は非売品である。
- B：本翻訳版は、「Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation, Specific Safety Guide No. SSG-18」©International Atomic Energy Agency, (2011)の日本語訳である。本翻訳版は、原子力規制庁により作成されたものである。本翻訳版に係る IAEA 出版物の正式版は、国際原子力機関（IAEA）又はその正規代理人により配布された英語版である。IAEA は、本翻訳版に係る正確性、品質、信頼性又は仕上がりに関して何らの保証もせず、責任を持つものではない。また、本翻訳版の利用により生じるいかなる損失又は損害に対して、これらが当該利用から直接的又は間接的・結果的に生じたものかを問わず、何らの責任を負うものではない。
- C：著作権に関する注意：本翻訳版に含まれる情報の複製又は翻訳の許可に関しては、オーストリア国ウィーン市 1400 ウィーン国際センター（私書箱 100）を所在地とする IAEA に書面により連絡を要する。
- D：本翻訳版は、業務上の必要性に基づき、原子力規制庁が IAEA との合意に基づき発行するものであり、唯一の翻訳版である。
- E：原子力規制庁は、本翻訳版の正確性を期するものではあるが、本翻訳版に誤記等があった場合には、正誤表と合わせて改訂版を公開する。また、文法的な厳密さを追求することで難解な訳文となるものは、分かりやすさを優先し、本来の意味を損なうことのない範囲での意識を行っている箇所もある。
- なお、本翻訳版の利用により生じるいかなる損失又は損害に対して、これらが当該利用から直接的又は間接的・結果的に生じたものかを問わず、原子力規制庁は何らの責任を負うものではない。

# 目次

1. はじめに
  - 背景(1.1-1.5)
  - 目的(1.6-1.7)
  - 範囲 (1.8-1.13)
  - 構成 (1.14)
2. 全般的な考慮事項と推奨事項
  - 全般的な考慮事項 (2.1-2.27)
  - 全般的な推奨事項 (2.28-2.39)
3. 必要な情報と調査 (データベース)
  - データ収集に対する全般的な推奨事項 (3.1-3.10)
  - 気象学的データ (3.11-3.26)
  - 水文学的データ (3.27-3.40)
4. 気象学的ハザードの評価
  - 全般的な手順 (4.1-4.3)
  - 極端な気象現象 (4.4-4.31)
  - まれな気象現象 (4.32-4.62)
  - 他の気象現象 (4.63-4.73)
5. 水文学的ハザードの評価
  - 高潮(5.1-5.16)
  - 風浪(5.17-5.35)
  - 津波 (5.36-5.69)
  - 静振(5.70-5.77)
  - 極端な降水事象 (5.78-5.103)
  - 貯水の突然の放出による洪水 (5.104-5.127)
  - 潮津波及び機械的に誘発される波 (5.128-5.132)
  - 高地下水位(5.133-5.137)
6. 設計基準パラメータの決定
  - 気象学的な設計基準パラメータ (6.1-6.3)
  - 水文学的な設計基準パラメータ (6.4-6.16)
7. 立地地点の防護のための手段
  - 総論 (7.1-7.4)
  - 立地地点防護の種類 (7.5-7.7)
  - 立地地点防護の解析 (7.8-7.12)
  - 汀線の安定性 (7.13-7.21)
  - 立地地点の排水 (7.22-7.23)
  - 輸送及び連絡の経路 (7.24-7.25)

8. 時間の経過に伴うハザードの変化

総論 (8.1)

気候の進展に起因する変化 (8.2-8.5)

時間の経過に伴うハザードのその他の変化 (8.6-8.11)

9. 施設の防護のための監視システム及び警報システム

全般的な推奨事項 (9.1-9.7)

気象学的及び水文学的なハザードに対する監視システム及び警報システム (9.8-9.21)

10. 原子力発電所以外の原子炉等施設 (10.1-10.10)

11. ハザード評価に対するマネジメントシステム

プロジェクト組織の特別な側面 (11.1-11.13)

工学的用途及び成果の仕様 (11.14)

独立ピアレビュー (11.15-11.17)

参考文献

添付資料 I: 気象変数に対する設計基準パラメータを定義する判断基準の例

添付資料 II: 津波ハザードの評価：加盟国における現在の慣行

添付資料 III: 津波警報システム

添付資料 IV: 気候変動

基準案の作成と査読の協力者

IAEA 安全基準の承認機関(略)

# 1. はじめに

## 背景

1.1. 本安全指針は、気象学的及び水文学的なハザードの評価に関して、原子炉等施設の立地評価に関する IAEA 安全要件刊行物 [1]に定められた原子炉等施設に対する要件を満たすための推奨事項を補足し、提示する。したがって、この安全指針は、立地地点の選定及び立地評価並びに該当する設計上の仕組み及び立地地点の防護措置により、外部の自然事象及び人為事象に対する原子炉等施設の防護を取り扱う他の安全指針を補完するものである [2-5]。

1.2. IAEA 基本安全原則 [6]は、「基本安全目的は、人及び環境を電離放射線の有害な影響から防護することである」(2.1 項)と定めている。これに関して、原則 8 は事故の防止に関するものであり、「事故の影響の防止と緩和の主要な手段は「深層防護」である」(3.31 項)ことを定めている。「深層防護」は適切な措置の組合せによってもたらされるが、その 1 つは「適切な立地地点選定及び・・・安全裕度、多様性及び多重性を実現する優れた設計と工学的施設の導入」(3.32 項)である。この原則を適用するために、原子炉等施設の安全に影響する可能性がある自然起因又は人為的な外部事象の影響に関して、原子炉等施設の立地地点の適性が評価されることが要求されている (参考文献 [1]、2.1 項)。

1.3. 本安全指針は既存の 2 件の安全指針、すなわち、「原子力発電所の立地評価における気象学的事象」(NS-G-3.4 (2003)) 及び「海岸立地及び河川立地の原子力発電所の洪水ハザード」(NS-G-3.5 (2003)) を引継ぎ、これらを置き換えるものである。これは、現象に関連した要件の遵守に関する指針と、因果関係及び関係する影響とを結びつけることを意図している。例えば、高潮と強風の影響が組み合わさり、施設の安全が懸念される事象が生じる可能性がある。また、干ばつは、冷却対策の必要性を高める極めて高温の事象と組み合わせる可能性がある。

1.4. 過去数年間、これら 2 件の既存の安全指針で対象とされた気象学的及び水文学的な項目について、重要な新しい知識と経験が得られてきている。具体的な分野としては以下のものが含まれる。

- 極端な気象学的事象及び水文学的事象の発生
- 潜在的な津波事象の特性付けと評価のための包括的で詳細な指針を提供する必要性を伴う、新しい評価手法 (例えば、津波ハザードに対する) の開発又は改善
- IAEA 安全基準の適用における加盟国の最近の経験
- 新しい要件及び最近の極端な自然事象からの経験に対応するための既存の原子炉等施設の改良
- 気候変動の潜在的影響、その影響を緩和する措置の採用及びその指針をこの分野における進展に照らして定期的に更新する必要性
- 低水位条件の評価、例えば、津波ハザードに対する水位低下の影響及び安全関連の冷却のための取水の喪失に関連したリスク

1.5. 原子力発電所のみならず、全ての種類の原子炉等施設に対する気象学的及び水文学的なハザードを評価するために使用されるアプローチを統合する必要もある。一部の加盟

国では、すでにそのような統合的なアプローチを開発している。

## 目的

1.6. 気象学的ハザードは、極端な気象条件及びめったに発生しない危険な気象現象に付随する。水文学的ハザードは外部の洪水事象及びそれに付随する多くの現象並びに低水位条件に付随する。本安全指針の目的は、気象現象及び水文現象に付随するハザードの評価についての安全要件を遵守する方法に関する推奨事項と指針を提示することである。原子炉等施設の安全に影響を及ぼしうるハザードは、立地地点の選定と評価、新規施設の設計及び既存施設の運転段階において適切に考慮されなければならない。本安全指針は、これらの自然ハザードに対する設計基準の決定方法に関する推奨事項を提示し、この種のハザードに対する立地地点の防護のための措置を推奨する。

1.7. 本安全指針は、規制要件を定める責任を負う規制機関による使用を意図しており、また、原子炉等施設の設計者並びに施設の安全及び電離放射線の有害な影響から人と環境を防護する直接的な責任を負う運転組織のためのものでもある。

## 範囲

1.8. 本安全指針は、設計基準を導き出す立地地点選定プロセスの概要調査及び詳細立地地点調査の段階から運転期間終了まで、原子炉等施設の存続期間全体にわたり、施設外部の気象現象及び水文現象に伴うハザードの評価に関する指針を提示する。

1.9. 立地地点選定は、ある施設に相応しい立地地点を選定するプロセスであり、関連する設計基準の適切な評価と定義を含む。立地地点選定プロセスは2つの段階に分けられる。「立地地点調査」と呼ばれる最初の段階では、既存のデータに基づいて候補地が選定される。第2段階は好ましい立地地点の実際の決定である。この段階は、好ましい立地地点の容認可能性を確認し、原子炉等施設の設計に必要なパラメータを確定するための立地評価の一部と考えることができる。立地評価は、立地地点の特性、運用記録、規制のアプローチ、評価方法及び安全基準の変化を考慮に入れるために施設の存続期間全体を通して継続する。立地地点選定段階に続く立地評価段階において、立地地点の容認可能性の確認と立地地点の完全な特性調査が実施される。

1.10. 本安全指針で取り扱われる気象学的及び水文学的なハザードは、外部事象によってもたらされるハザードである。外部事象は、施設の運転又は活動の実施とは無関係の事象であり、施設又は活動の安全に影響を及ぼしうるものがある。「施設外部」という概念は外部領域<sup>1</sup>以上の範囲を含めることを意図している。なぜなら、直接的に立地地点区域を取り巻く区域に加えて、立地地点区域そのものが、貯水池のような施設へ危険性を及ぼす対象物を含む場合があるからである。

1.11. 大気中並びに地表水中及び地下水中での放射性物質の移行、及び環境中でのその拡散は参考文献[3]で考慮されており、本安全指針の範囲外である。

---

<sup>1</sup> 外部区域とは、提案された立地地点区域を直接的に取り巻く区域で、人口分布及び人口密度、並びに土地と水の利用が、緊急時対策の実行可能性に与える影響に関して考慮されている区域である。この区域は、施設が設置された場合には緊急時区域となる区域である。

1.12. 本安全指針は、参考文献[7]で定義される広範な原子炉等施設、すなわち陸上設置の原子力発電所、研究用原子炉、核燃料加工施設、濃縮施設、再処理施設及び使用済燃料貯蔵施設を取り扱う。原子力発電所に関しての使用のために本指針で推奨される方法は、等級別扱いを用いて他の原子炉等施設に適用することができる。等級別扱いは、故障による潜在的な放射線影響の過酷さに応じて、異なる種類の原子炉等施設に対する推奨事項を個別に調整できることを意味している。等級分けの推奨される方針は、原子力発電所に関する属性を出発点とし、可能であれば、放射線影響が小さくなるにつれて施設の等級を下げていく方法である。<sup>2</sup>したがって、等級分けが実施されない場合は、原子力発電所に関する推奨事項が他の種類の原子炉等施設に適用される。その場合、第10章は適用されない。

1.13. 本安全指針の目的においては、既存原子炉等施設とは(a)運転段階にあるもの（長期運転と長期の一時的停止期間を含む）、(b) 運転前段階にある施設であって、構築物の建設、機器とシステムの製造、据付け及び／又は組立、並びに試運転活動が大きく進んでいるか完全に完了しているもの、あるいは、(c) 核燃料が施設内（炉心又はプール内）にあるが一時的又は恒久的な停止状態にあるもののいずれかである。一般的に、運転段階又は運転前段階にある既存原子炉等施設では、当初の設計基準の変更は設計への大きな影響、ひいては重要な機器の改造を生じる場合がある。また、多くの既存原子力発電所の立地地点では増設の原子力発電所の号機の建設と運転が検討されている。既存の立地地点の再評価により、既存施設の設計基準と立地地点に新規建設される施設の設計基準との相違を特定できることになる。そうした相違は新しいデータ、方法又は要件の利用可能性によって生じる可能性がある。それらは、本安全指針で推奨されるように、新たに決定される外的ハザードに対して再評価された立地地点上の既存施設の安全を評価する必要があることを示す場合がある。

## 構成

1.14. 第2章は原子炉等施設における気象現象及び水文現象に伴うハザードの評価に関する全般的な推奨事項を提示する。第3章はデータに対する（データ収集と調査に対する）要件について説明する。第4章は気象学的ハザードの評価に対する推奨事項を提示する。第5章は水文学的ハザードの評価の実行について詳述する。第6章は設計基準パラメータの決定における考慮事項を示す。第7章は立地地点を防護するための措置に対する推奨事項を提示する。第8章は時間の経過に伴うハザードの変化を取り扱う。第9章はプラント防護の目的に対する監視と警告の要件を満たす推奨事項を提示する。第10章は原子力発電所以外の原子炉等施設の評価への等級別扱いの適用に関する推奨事項を提示する（該当する場合には他章の参照を含む）。第11章は全ての活動の実施のために用意すべきマネジメントシステムに関する推奨事項を提示する。使用される技術用語の定義と説明については、IAEA 安全用語集[7]を参照のこと。本安全指針に固有な用語の説明は脚注で示される。

## 2. 全般的な考慮事項と推奨事項

### 全般的な考慮事項

---

<sup>2</sup> さまざまな種類の原子炉等施設が同じ場所に位置する立地地点については、等級別扱いの使用には特別な配慮をすべきである。

2.1. 気象現象及び水文現象は、単独で又は組合せて原子炉等施設の安全に影響を及ぼすおそれのある、いくつかのハザードを引き起こすことがある [1]。そのようなハザードに対する原子炉等施設の防護のために、深層防護の概念を適用する適切な措置が講じられるべきである。本安全指針で考慮されるハザードには、風、水、雪、氷又は雹、風による飛来物に付随するハザード、立地地点又は立地地点周辺での極端な水位（高水位及び／又は低水位）、水の動的効果（例えば、波、津波、鉄砲水）、極端な気温と湿度、極端な水温、極端な地下水位を含む。

2.2. 気象現象及び水文現象は、原子炉等施設の立地地点上の全ての安全上重要な構築物、系統及び機器に同時に影響する場合がある。これは、外部電源、崩壊熱除去系及び他の重要系統の喪失の可能性とともに、非常用電源系統のような安全上重要な系統に共通原因故障のリスクをもたらす可能性がある。立地地点全体での共通原因による影響と被害の可能性は、立地地点に対する影響を解析する際に重要な考慮事項である。これには、新規の、更新された又は適切に配置された安全関連系統の組み込みを含む。これらの考慮事項は、複数号機又は複数施設から構成される立地地点が検討されている場合、特に、安全上重要な構築物、系統及び機器が号機間で共有される場合にはより重要である。

2.3. 気象現象及び水文現象は、原子炉等施設の立地地点区域周辺の通信網及び輸送網にも影響を及ぼす場合がある。それらの影響は、運転員による安全関連措置の実行を危うくする場合があり、また、緊急時に避難経路が通行不能となり、立地地点が孤立することにより通信と供給が難しくなり、緊急時対応を妨げる場合がある。例えば、原子炉等施設周辺の道路網に影響を及ぼす洪水は、緊急時対応計画の実行を妨げる可能性がある。砂塵嵐、砂嵐、雷及び降水もまた、避難や移転の措置を遅らせることにより及び／又は通信や運転員の勤務交代を妨げることにより、緊急時対応を妨げる可能性がある。

2.4. 本安全指針では、安全関連の系統、特に最終ヒートシンクが適切に機能する能力に影響しうる条件に対処するため、高い水温並びに低水位条件及び水位低下に伴うハザードが考慮されている。場合によっては、その地域で合理的に起こりうると思われる最も苛酷な干ばつに起因する低流量と低水位に関する推定が必要となる場合がある。そのような状態の原因には、水の蒸発、雨量不足、流路の障害、水管理構造物の下流部損壊、地下水のくみ上げなどの人為的影響を含む。これ以外には、高潮、静振又は津波により海面水位の低下が引き起こされる場合もある。

2.5. 考慮されるべき外的ハザードの気象学的側面には、めったに発生しない危険な気象現象のほかに、気象パラメータの極値が含まれる。めったに発生しない危険な気象現象は、いくつかの重要なパラメータの極値を発生させる場合がある。気象パラメータの値の通常範囲と気象現象の通常の発生頻度は地域に依存する。それらは、立地地点と周辺の地理的地域を代表する過去のデータの解析によって推定されうる。

## 気象学的ハザード

2.6. 本安全指針では、特に次の気象変数が取り扱われている。

- 気温
- 風速
- 降水量（水当量）
- 積雪



2.7. 本安全指針の目的のために考慮されるめったに発生しない危険な気象現象は、2.9 項に従い、次のとおりである<sup>3</sup>（参考文献[1] 3.11-3.17 項参照）。

- 雷
- 熱帯低気圧、台風及びハリケーン
- 竜巻
- 水上竜巻

2.8. 原子炉等施設の安全に悪影響を及ぼす可能性があり、気象現象に関連するその他の考えられる現象は次のとおりである（参考文献[1] 3.52 項参照）。

- 砂塵嵐及び砂嵐
- 雹
- 着氷性の降水及び霜に関連する現象

2.9. 本安全指針の文脈では、気象パラメータの極値は、継続的な定期測定で記録されたパラメータ（例えば、極端な温度）の統計的解析によって特定される。めったに発生しない現象は、いずれかの単一場所での発生頻度が非常に小さく、現象の破壊的影響により標準的な測定計器が損傷する場合があるため、いずれかの特定地点で測定される可能性は低い。

2.10. 強烈な風は、原子炉等施設の安全に大きな影響を及ぼし、施設の安全解析に含まれるべき起因事象を導く場合がある。風は故障の共通原因となる場合がある。強烈な風、特に熱帯低気圧と竜巻の発生時には、飛散瓦礫や投射体が生じる場合がある。

## 水文学的ハザード

2.11. 本安全指針では、関連する水体で発生し、洪水又は低水位条件を起こす場合のある水文現象が考慮されている。関連する水体とは、施設の立地地点又は立地地点近隣に洪水を発生させ又は影響を及ぼす場合がある全ての大洋、海、河口、湖、貯水池、河川及び運河である。最も重要な現象には次のものを含む。

- 高潮
- 高波
- 津波
- 静振
- 豪雨
- 天然又は人工の貯水池からの突然の放水

2.12. 施設にハザードをもたらす可能性がある他の水文現象には次のものを含む。

- 上流の水位上昇や下流の水位低下。これらは、例えば、地すべりによる又は氷、丸太、漂流物若しくは火山物質の集積による河道の閉塞によって引き起こされる
- 水体への地すべり又は雪崩
- 水上竜巻<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> 本指針が対象外とする他の気象学的事象（例えば、海風による塩の吹き付け）は立地地点ごとに考慮が求められる可能性がある。

<sup>4</sup> 水上竜巻の説明については、4.59～4.61 項を参照。

- 立地地点上の施設又は立地地点近くの施設（例えば、水路、水保持構造物又は配管）の劣化や故障
- 流量の突然の変化による流路内の水の増加。その原因は、例えば潮津波など自然起源のもの、あるいは水力発電所の閉鎖のような人為起源のものがある
- 地下水位の変動
- 過冷却水の水面下での氷結（晶氷）

2.13. 施設の内部区域への水の浸入により、安全関連の構築物、系統及び機器に少なからぬ損傷が引き起こされることがある。壁と基礎にかかる水圧が構造上の耐力又は安定性を脅かす場合がある。地下水は土壌又は埋戻しの安定性に影響を及ぼす場合がある。また、ある種の原子炉等施設については、核分裂性物質の臨界に対する水の影響が考慮されるべきである。

2.14. 立地地点の排水系における不具合や閉塞も立地地点の洪水を引き起こす可能性がある。河川洪水は、構造物を物理的に損傷したり、取水を妨げたり又は排水系を損傷したりする可能性のある、あらゆる種類の堆積物及び漂流物を運搬する場合があり、また、厳冬期には浮氷塊を運搬する場合がある。

2.15. 水の動的効果は、立地地点に設置される多くの系統と機器だけでなく、原子炉等施設の構築物及び基礎に損傷を与えることがある。そのような場合、立地地点境界での侵食、構築物周囲の洗掘又は地下水の影響による埋戻しの内部侵食が起こる場合がある。

2.16. 洪水は、事故時に環境への放射性物質の拡散にも寄与する場合がある[3]。

2.17. 洪水に関連する現象の原因と影響に関する推奨事項は、地震 [5]、火山 [8] 並びに大気、地表水及び地下水への放射性物質の拡散 [3]について議論している他の安全指針で提供される。

## 時間経過に伴うハザードの変化

2.18. 気候の短期的変動性と長期変動は、極端な気象条件及び水文条件の発生に影響を与える場合がある。施設の存続期間を通して、立地地点の気候が大きく変化することになる可能性がある。

## ハザードの評価方法

2.19. ハザードの評価方法は、多くの場合、決定論的方法と確率論的方法の大きく2つのアプローチに分けられる。気象学と水文学の分野では、この2つのアプローチは以下の項で説明されるように採用される。

2.20. 一般に受け入れられた用語ではあるが、可能最大静振や可能最大高潮のような事象は確率論的枠組みでは特性付けられていない。しかし、この用語は、決定論的アプローチにより調査される場合であっても、設計基準シナリオに付随する年「超過頻度」の推定が行われることを示唆している。

2.21. ハザードの評価はプロセス中にある不確かさの処理の必要性を含んでいる。全体的な不確かさには偶発的な不確かさ（すなわち、本質的に内在的なもの又は偶発的なもの）だけでなく、ハザードの評価に携わる専門家による解釈の差から生じる認識的な不確かさ（すなわち、本質的に外因的なもの又はモデル化に付随するもの）の両方を含むことにな

る。検討対象の現象の発生源の特定、解析及び特性付けの各側面並びに該当するハザードとその関連パラメータの推定には、専門家による主観的な解釈を伴う場合がある。これを考慮することにより、そのような解釈が一貫した方式で処理される場合がある。これは、対象に関する現在の考え方の適切な表現を提供するものであり、解釈の偏向を回避し、収集されたデータを使用して全ての実行可能な仮定及びモデルの評価を可能にするものである<sup>5</sup>。

### 決定論的方法

2.22. 決定論的方法は、特定のシナリオにおいて、ある事象がシステムに及ぼす影響を特性付ける物理的又は経験的なモデルの使用に基づいている。初期条件と境界条件を含む所与の単一入力値又は入力値セットに対し、モデルは、一般的には、システムの最終状態を記述する単一値又は一群の値を生成することになる。この場合、いかなる年超過頻度も明示的な考慮をしていない。通常、不確かさを考慮するために、又は保守的な推定を提供するために、入力パラメータの適切な極値又は保守的な値が使用される。

2.23. 物理的な限度が存在する場合（例えば、ある体積の空气中で飽和に達するために必要な水蒸気量）、決定論的方法は「物理的限度」の概念、すなわち、発生頻度に関係なく洪水水位又は風速など対象の変数の上限を使用することにより、統計的外挿に合理的な制限を与える場合がある。

### 統計的及び確率論的な方法

2.24. 統計的解析が実施される場合、それは一般的には時系列<sup>6</sup>の解析と合成に基づいている。時系列が決定論的成分と未知の数のランダム成分の両方を表していること、及びランダム成分が合理的に独立していることが想定される。これらの方法を使用することにより、利用可能なデータセットの欠落期間、欠損データ及び異常値が適切に考慮されるべきである。

2.25. データ系列を解析する2つの異なる統計手法が一般的に使用される。これらの手法を使用する場合、さまざまな超過頻度に対応する極値がこれらのデータ及び付随する信頼区間から導かれる。一般化極値手法では、極値統計の計算を実施するために、年間1件の極端な事象が特定され、毎年集計される。それに対して、閾値超過法は、少ないサンプルから生じる大きな不確かさを補償するために、年当たり1つの最大値の代わりに所与の閾値を上回る全ての値を保持するものである。

2.26. 変数の長期的変動による（例えば、気候変動による）データセット<sup>7</sup>の非定常な特性は、極値分布（一般化極値、閾値超過）のパラメータが記録されたデータ全体にわたって時間とともに変化することを可能とすることにより対処することができる。

---

<sup>5</sup> 一部の加盟国では、モデル化における不確かさとデータの不確かさの影響度を評価するため、公式な意見解釈が行われている。

<sup>6</sup> この場合の時系列とは、継続的又は特定の時間間隔で測定される所与の変数の値の日付順の作表である。

<sup>7</sup> 多くの時系列手法の共通の前提は、データが定常的であることである。定常のプロセスは確率的なプロセスであり、その同時確率分布は時間又は空間がシフトしても変化しない。このようなプロセスは、平均及び分散などのパラメータが時間又は位置にわたって変化しないという特性を有する。この定常的特性とは、一般的に言えば、時間の経過と共に一定の分散、時間の経過とともに一定の自己相関構造、および周期的な変動を伴わない、傾向のない平坦な見た目の時系列が存在することを意味する。

2.27. 確率論的ハザード解析は、津波波高のようなあらゆるパラメータの超過頻度を決定するために、関連する全ての現象の確率論的記述を利用する。それは、偶発的不確かさと認識的不確かさを明示的に考慮する。

## 全般的な推奨事項

2.28. 安全要件刊行物「原子炉等施設の立地評価」[1]では、次のように定められている。

- 「原子炉等施設の安全に影響を及ぼし得る立地地点の特徴を調査し評価しなければならない。運転状態及び事故状態時において潜在的な放射線の影響を受け得る地域での自然環境の特徴を調査しなければならない。プラントの存続期間中においては、これらの特徴を全て観測、監視しなければならない。」（参考文献 [1]、2.4 項）
- 「施設の安全に影響を及ぼすような外部自然事象と現象及び外部人為事象と現象の発生頻度と過酷さに関して、原子炉等施設に対して提案された立地地点を調査しなければならない。」（参考文献 [1]、2.5 項）
- 「原子炉等施設の設計において考慮すべき外部事象に関する危険性を決定しなければならない。外部事象（あるいはその組合せ）に対して、危険性を特徴づけるために使用するパラメータとその値は、施設の設計において容易に使用可能となるように選択されるべきである。」（参考文献 [1]、2.7 項）
- 「いかなる施設の立地地点に対しても、以下に示す気象学的な変数の極値及び希な気象学的現象を調査しなければならない。立地地点周辺の地域に関する気象学的及び気候学的特徴を調べなければならない。」（参考文献 [1]、3.8 項。より詳細な要件は 3.9～3.17 項にある。）
- 「降雨や雪解けによる出水、高潮、暴風波、静振、風浪のような、原子炉等施設の安全に影響を及ぼす可能性のある一つ又はそれ以上の自然原因による洪水の可能性を決定するために、当該地域の評価を行わなければならない。」（参考文献 [1]、3.18 項。より詳細な要件は 3.19～3.23 項にある。）
- 「立地地点の原子炉等施設の安全に影響を及ぼすような津波や静振の可能性を決定するために、当該地域の評価を行わなければならない。」（参考文献 [1]、3.24 項。より詳細な要件は 3.25～3.28 項にある。）
- 「上流の治水構造物が 1 つ又はそれ以上破損した場合の影響に原子炉等施設が耐えられるか否かを決定するために、上流の治水構造物に関する情報を分析しなければならない。」（参考文献 [1]、3.29 項。より詳細な要件は 3.30～3.32 項にある。）

降水、地震又は他の地質学的現象により誘起される波又は他の要因による洪水ハザードに関する詳細な要件は、参考文献 [1] の 3.18～3.32 項に記載されている。

2.29. 施設の立地地点周辺地域の気象学的及び水文学的な特性は、本安全指針に記載されるように調査されるべきである。調査されるべき地域の大きさ、収集されるべき情報の種類及び調査の範囲とその詳細は、立地地点が位置する地域の気象学的及び水文学的な環境の性質と複雑さを基に決定されるべきである。いずれの場合も、収集されるべき情報の範囲とその詳細及び実施されるべき調査は、水文学的ハザードと気象学的ハザードを決定するのに十分なものであるべきである（参考文献[1]の 2.19 項を参照）。津波に関連する現象に関しては、調査されるべき地域の大きさに関する特別な考慮事項が第 3 章（3.34 項）と第 5 章（5.48 項）に記載されている。

2.30. 調査されるべき地域が国境を超えて広がる場合、また、立地地点が海岸線に位置する場合は、データベースには地域全体からのデータを含めるべきである。

2.31. 統計解析が実施される場合は、データセットの飛躍、傾向、欠落期間及び欠損データ並びに異常値が十分に考慮されるべきである。

2.32 確率論的ハザード評価において数種類のモデルが提案される場合、それらは正式にハザードの確率論的計算に含められるべきである。確率論的方法の結果は、簡略化された決定論的解析の結果との整合性が確認されるべきである。確率論的方法を適用する場合、個別のハザードに対して、いかなる工学的判断の使用も明示的かつ明確に識別されるべきであり、含まれる全ての不確かさが適宜評価されるべきである。

2.33 気象学的評価と水文学的評価の全般的なアプローチは、データに裏付けられた信頼できる結果が得られるよう、評価プロセスのさまざまな段階で不確かさを軽減する方向に向けられるべきである。これを達成する最も有効な方法は、十分な量の信頼できる適切なデータを収集することである。一般的に、詳細で信頼できる適切なデータベースをまとめるために必要な時間及び労力と、解析者がプロセスの各段階で考慮すべき不確かさの程度との間にはトレードオフがある。立地地点固有のデータの収集は不確かさを下げる傾向にある。しかし、気象学的及び水文学的なハザード解析で使用されるデータの中には立地地点固有でないものもある。したがって、立地地点固有の調査に対して残存する不確かさは適切に評価されるべきである。

2.34. 決定論的アプローチ、統計的アプローチ又は確率論的アプローチのいずれが用いられるにしても、ハザード評価の結果における不確かさの定量的推定値が決定されるべきである。いずれのアプローチが選択されても、アプローチの選択、使用される関連パラメータに関して、また、パラメータに付随する数値の定義において、工学的判断が行われるべきである。

2.35. 決定論的アプローチ及び統計的アプローチにおいては、不確かさは感度調査を行うことによって決定されるべきである。これは、例えば、入力パラメータとモデルに使用されるデータの双方における不確かさのありうる範囲と程度を評価することにより、及び関連パラメータの値を可能な範囲で変化させてハザードの予測が影響を受ける程度を試験することにより行うことができる。決定論的アプローチでは、一般的に不確かさは評価の各段階で保守的なプロセスを使用することにより考慮される。決定論的プロセスに組み込まれる保守性は、全ての不確かさが十分に考慮されるようにするべきである。統計的アプローチでは、上限の信頼水準を用いることが適切な場合がある。

2.36. 確率論的ハザード解析では、不確かさの考慮が明示的に手順に含められるべきである。全体の不確かさには、ハザードの評価プロセスに参加する専門家によるデータの解釈の相違によって生じる認識的な不確かさだけでなく、偶発的な不確かさも含まれることになる。これらの不確かさは、ハザード評価において特定され、適切に考慮されるべきである。不確かさの処理は、専門家の意見の適切な考慮とともに、偏りのない評価ができるようにすべきである。

2.37. 気候変動は、気象学的及び水文学的な解析に更なる不確かさを付加するものであり、それは考慮されるべきである。気候変動のモデル化における不確かさには、さまざまな社会経済シナリオにおいて、地球規模の気温変化を駆り立てる温室効果ガスの将来の排出量に関する仮定を含むものであり、また、さまざまな全球気候モデル間の不一致を含むものである（第8章参照）。

2.38. 第10章を除き、本安全指針の残りの部分は、原子力発電所に対するハザード解析に

ついでにデータ収集、方法及び判断基準に割かれている。収集されるべき情報、使用されるべき方法及び適用されるべき判断基準は、第 10 章で提示される手引きを使用することにより、他の原子炉等施設に合わせて縮小（又は下位の等級付け）されるべきである。

2.39. 気象学的及び水文学的なハザードの評価は、明確で詳細な目的が定義される特定のプロジェクトを通じて、また、本安全指針の第 11 章で推奨されるような作業計画に従って行われるべきである。

### 3. 必要な情報と調査（データベース）

#### データ収集に対する全般的な推奨事項

3.1. 立地地点調査とデータ収集が実施される際には、気象学的及び水文学的なハザードパラメータの立地地点固有の値を解析し、推定するために必要な全ての情報を含めるよう注意が払われるべきである。収集された全ての情報は、検討対象の各ハザードについて、特定の立地地点目録又はデータベースにまとめられるべきである。施設の存続期間にわたり拡張が容易なデータベースの開発を可能とするため、データベースの構造は、第三者による再現性のある解析が可能となるように可能な限り標準化されるべきである。気候変動の影響により、将来、解析の修正が必要となる場合があり、それは初期の基準解析と比較される必要があることを考慮すべきである。立地評価の結果は、安全要件刊行物「原子力発電所の安全：設計」[9]及びその関連安全指針に記載されるように、発電所の設計に使用されるべきである。

3.2. 本安全指針で議論されるハザードに関連する全ての要求されかつ必要な気象学的及び水文学的なデータ及び情報を収集するために、詳細な研究と調査が実施されるべきである。予備調査において、あるハザードが更なる検討から除外できると最終的に示された場合、その理由が文書化されるべきである。

3.3. 収集された詳細なデータは、発電所に対する設計基準パラメータを決定するために使用されるべきである。立地評価の予備段階から運用している立地地点の監視システムにより収集されたデータは、短期間に入手されたとはいえ、立地地点のハザードを評価するために使用された地域ネットワークから得られたデータが、立地地点近傍の特定の特性を代表するものであることを検証するために使用されるべきである。

3.4. いずれの場合も、調査されるべき地域の大きさ、収集されるべき情報の範囲及びその詳細並びに実施されるべき調査は、気象学的及び水文学的なハザードに対する原子力発電所の防護に対する設計基準を決定する上で十分なものであるべきである。さまざまな入力変数の影響を適切に結びつけるために、これらの変数の時間的分布に関する情報も入手されるべきである<sup>8</sup>。

3.5. データと情報の収集は、定期安全レビューの実施を可能とするために、原子力発電所

---

<sup>8</sup> 様々な入力変数の時間的分布に関する情報を得るために、所与の自己相関関数及び相互相関関数を用いて、全ての入力パラメータを不規則過程として特徴付けることが望ましい。しかし、適切な荷重組合せの判断基準の策定に簡略化法が役立つ場合もある。

の存続期間を通して、また、廃止措置段階の安全関連業務の完了まで継続されるべきである。

3.6. データは、適切な縮尺の地図、グラフ及び表を使用して明確に示されるべきである。一般に、立地評価段階で収集された全ての利用可能なデータは、地理情報システムを使用して最初から体系化されるべきである。地理情報システムは、ハザードを評価するために、必要に応じて立地地点区域を取り巻く適切な地域まで拡張された数値標高モデルを含む、立地地点に関連する全てのデータのデジタル化システムを整備するために設定されるべきである。

3.7. 気象学的及び水文学的な変数の極値を評価するために使用される長期データは、該当する設計基準の評価に使用される再現期間に見合った期間を対象とするべきである<sup>9</sup>。既存ネットワークが地域内のデータを収集するのに不十分な場合には、補足的な観測所を実行可能な限り早期に設置し、運用すべきである。補足データを収集するために利用可能な時間は、通常比較的短い、そのようなして得られた情報は貴重である。

3.8. 津波に対するハザード評価については、利用可能な観測期間は一般的に十分ではない。したがって、立地地点区域の古洪水解析など他のアプローチが考慮されるべきである。

3.9. 歴史的記録及び逸話的記録は、しばしば、ハザード評価の包括性と信頼性の改善に必要な、ほかでは得られない重要な情報を提供する。そのような情報の収集と解析の両面に注意が払われるべきである。そのような記録は、例えば、新聞、歴史記録、公表及び未公表の事象目録、個人の体験談、遡上高計測及び浸水域計測、現地調査報告書、河道の変更、写真やビデオ記録及び保管文書といった情報源の徹底的な検索から得られる。この種のデータから、また、各現象に対する経験的な分類システムを使用することにより、一組の事象とその強さがその地域に関して収集される場合がある。これらのデータのみに基づいた評価は見方が偏りやすい。これは、強さの低い事象のデータが欠けがちになること、又は当時の人口密度に対するデータの依存性による場合がある（例えば、その事象が農村地域では観察されなかった可能性がある）。また、当時、データが主観的かつ一貫性なく分類され、適切な強度レベルを標準的な分類方法に割り当てることが困難な場合がある。既往データは、決定論的推定のいくつかの仮定を確認するために又は確率論的推定の基礎として使用される場合がある。

3.10. 観測された気候変動の影響に対応して求められる活動は、環境データの継続的な長期監視と地域的傾向を有するデータの補正である。

## 気象学的データ

### 全般的な考慮事項

3.11. 気象変数の極値及びめったに発生しない危険な気象現象を評価するためには、固有の詳細な情報が収集されるべきである。これについては、以下のことが考慮されるべきで

---

<sup>9</sup> 例えば、気象学における設計パラメータを決定するために一般的に採用される年超過頻度  $10^{-2}$  の危険要因の場合、サンプル期間の長さの 3~4 倍を超える値に対しては十分な精度で危険性を推定することができないため、継続的観測の最低期間は少なくとも 30 年とするべきである。さらに、気候の変動性の特性付けに関しては、「気候平年値」と呼ばれる指標が WMO で使用されており、正確な平均値を獲得しその変動性を評価する目的では、30 年の期間は年々変動を排除するために十分な長さであるとみなしている。

ある。

- (a) 気圧、気温（又は乾球温度<sup>10</sup>）及び湿度並びに風速及び風向などのパラメータの気候学的平年値と極値が気象環境を特性付ける。これらは、国の気象機関によって日常的に測定されるほか、場合によっては、国際的、地域的又は民間組織によっても測定される。各国の気象機関により実施され、収集され、記録保管され、利用可能となる測定値は、WMOにより調整され、世界中で交換されている。「重要」な気象情報は世界資料センターで記録保管され、利用可能となっている。WMOは、測器及びその設置と測定（例えば、外気温や風速の測定）に関する標準と最良事例を整備している。これらのデータ、標準及び事例は全て、特定の原子力安全目標及び原子炉等施設に対するハザードを評価するために推奨される判断基準と方法に適切に配慮して使用されるべきである。気象環境を特性付けるために収集されるべきパラメータには湿球温度<sup>11</sup>を含めるべきであり、これは乾球温度、露点温度（又は相対湿度）及び気圧の関数として計算することができる。一般的には、これらのデータは次の統計を導くために使用される。
- (i) 安全上重要な構築物、系統及び機器に対する設計荷重を評価するための年超過頻度に付随する風速、降水量（水当量）及び積雪の年間極値
  - (ii) 特定の気温条件が発生する頻度。これは、原子力発電所のヒートシンクシステム、事故後の格納容器の除熱系及び発電所の暖房、換気及び空調系の設計のための熱負荷を定めるため、各年の時間数で表される。湿球温度の統計は、そのような目的のために求められる。
  - (iii) 特定の型式の最終ヒートシンクを設計するため、最低限の水冷却だけでなく、最大の蒸発量や飛沫損失に相当する過去に発生した最悪の気象条件。
- (b) めったに発生しない危険な気象現象は、地域の気象データと情報源に基づいて評価するのが最もよい。通常、そのような現象の大きさは、所与の気象パラメータ（例えば、竜巻における風速）に対する影響（被害）の深刻度又は性質の観点から尺度付けされる。

3.12. 極値を含む気候学的統計は、可能な限り、標準的な条件で標準的な手順に従って行われる観測の記録から決定されるべきである。これについては、測器における標準と最良事例を含めた測定に関する詳細、すなわち計測器の設置、観測、データ管理、品質管理システム、均質化などがWMOの刊行物で入手可能である。

3.13. 関連する気象データ及び情報のその他の情報源としては、例えば、史的解析（又は気象学における再解析データセット）又は関連気象情報を含む地域あるいは地方の開発プロジェクトの記述から入手できる可能性がある。

## データ及び情報の所外情報源

3.14. 気象変数の極値を評価するためには、データは長期間にわたって適切な間隔で途切れることなく収集されるべきである。通常、特定の場所で記録されたデータはほとんどの立地地点では利用可能でないため、国の気象機関により運営され、立地地点の周辺地域に設置され稼働している気象観測所から利用できるデータの評価が行われるべきであり、国

---

<sup>10</sup> 乾球温度は外気温とみなされる。

<sup>11</sup> 湿球温度、露点温度及び相対湿度は空気中の水分の指標である。湿球温度は、水を空气中へ蒸発させることによって得られる最低温度を指す。露点は、気圧と水分含有量が一定であると仮定して、飽和に達するために空気を冷却しなければならない温度である。相対湿度は、空気が飽和した場合に存在できる水分量に対して大気中に存在する水分量の割合である。



の気象機関には最初に助言を求めるべきである。調査されるべき地域の大きさは、立地地点が位置する区域の気象学的及び地理学的な環境の固有特性に基づいて決定されるべきである。必要な統計パラメータのより頑健な推定値を与えるために、立地条件が当該パラメータに関して最も代表的となるような観測所の長期的なデータセット又はその代わりとして、同じ気候帯に属することがわかっている近隣の様々な気象観測所の記録が調査されるべきである。最初のアプローチは、立地地点の気象データ収集プログラムで得られる類似データとの比較を行うことにより達成される場合がある。

3.15. 一般的に、データ解析のための時間間隔が年単位の場合、開始日は当該気象変数が変動周期の山や谷に該当しない時期を選択することが望ましい。

3.16. ほとんどの国の気象機関は、風、気温及び降水に関するデータを含む収集された特定の気象及び気候データを記載した目録を発行している。国の気象機関は、極値を含む月間及び年間の気候統計に関する基礎解析と併せて、デジタル形式のデータを出版物として発行するか、又は利用可能にしている。これらのデータの利用者は、国の気象機関が一般的にはWMOが定める測定標準に従っているものの、異なる要件を満たすために異なる組織によって行われた現場測定は必ずしも同じ標準に従うものではないことを認識すべきである。例えば、

- (a) 風速と風向の測定には10 mの高さで計測器を露出させるという標準は、計器の設置の都合上守られない場合がある。
- (b) 最大風速を記録するための測定手法は加盟国ごとに異なる。一般的な傾向は、3秒の突風、60秒平均、10分平均など、一定期間の平均値を記録することである（平均化時間がデータベースの1つの特性である）。
- (c) 気温（乾球温度及び露点温度など）は観測所によっては連続して記録され、別の観測所では頻繁な間隔で記録される。2次的な地点では、日最高気温と日最低気温のみが記録される。
- (d) 日常的に収集され極端な最大降水量の解析のために使用されるデータには、通常、24時間雨量の最大値が含まれる。より短い平均化時間に基づいた記録にはより多くの情報が含まれており、特定の状況下ではこちらを選ぶべきである。<sup>12</sup>

このような相違には、慎重な評価及び可能であれば処理前のデータの調整が必要である。そのような情報は、使用されるデータ処理方法に関する情報を含めて文書化されるべきである。

3.17. 解析結果に関する報告書は、計測器の種類、校正履歴、地理的な位置、計測器の露出状況と標高、データ記録期間及びデータ品質を含む、各気象観測所及び監視プログラムの説明を含めるべきである。

3.18. 立地地点の領域的及び局地的な地球物理学的特徴を解明するのに十分な空間分解能を持つメソスケール数値モデルは、領域規模及び局地規模での大気循環と地域依存性の高い他の気象パラメータを模擬計算するのに有益である。そのようなモデルが利用可能で、妥当性が確認され、十分な裏付けがあれば、地域の気象条件に関連して立地地点の気象条件の理解を向上するための評価を含む気象観測地点の評価の一部として利用されるべきで

---

<sup>12</sup> 短い平均化期間の間に、特定の雲のセルから非常に激しい降雨が観察されることがあり、これは24時間の平均化期間を使用すると平滑化されることに注意すること。これは、特に地形条件のために極端な降雨がある地域で該当する場合がある。

ある。

## 敷地内観測プログラム

3.19. 原子炉等施設の候補地を選定後できるだけ早く、敷地内気象観測プログラムを策定すべきである。そのようなデータ収集・監視プログラムの実行に当たっては、計測、データ収集及び監視のほか、データセットの交換に関する関連の標準と最良事例に関して国の気象機関と調整すべきである。<sup>13</sup> 気象パラメータには、各変数に対する標準的な高さと露出条件で測定された、気温、風速及び風向、降水量並びに湿度を含めるべきである[3]。

3.20. 敷地内気象観測プログラムは、参考文献[1]及び[3]によって要求されるように、立地地点での大気拡散を評価するための鉛直プロファイル監視に向けた敷地内の地表ベースプログラムの一環として使用されるべきである。

3.21. 近くの気象観測所で実施される長期的な測定が、立地地点を代表すると考えることができる間接的な証拠が存在する場合がある。それでも、立地評価の短期間の記録で得られる敷地内データは、近くの観測所のデータに基づいて評価される気象パラメータの極値と併せて、立地地点固有の条件が及ぼしうる影響を解析し、評価するために使用されるべきである。

## まれな気象現象

3.22. めったに発生しない危険な気象現象として特性付けられる事象は、その発生頻度が低いことから、いかなる単一場所においても、又は標準的な計測ネットワークによっても記録される可能性は低い。さらに、そのような事象は標準的な計測器を損傷したり、又は信頼できない測定値を生じさせたりする可能性がある。めったに発生しない現象、例えば、極端な風速を発生する現象に関しては、現象の強度の推定は、立地地点における事象の発生率と強度推定に適した統計手法と組み合わせた現象の概念モデル又は数値モデルに基づいて決定されるべきである。調査されるべき地域の大きさは、立地地点が位置する地域の気象学的及び地理学的な環境並びに検討対象のハザード（例えば、竜巻やハリケーン）に固有の特性に基づいて決定されるべきである。

3.23. まれな気象現象については、国の気象機関から一般的に入手可能な次の2種類のデータが収集されるべきである。

- (a) 近年に体系的に収集、処理、解析されたデータ及び情報には、激しさが小さい事象の発生がより多く含まれる場合があり、それらは過去の（逸話的）データより信頼性が高い場合がある。
- (b) 3.9項で言及された歴史的データ

3.24. 時として、まれな気象学的事象の発生直後に得られた包括的なデータと情報が入手可能となる場合がある。これには変数の測定値、目撃者の説明、写真、損害の説明及び事象発生直後に得られた他の定性的情報が含まれる可能性がある。実際に起きた、まれな気象事象のそのような詳細な調査は、それらの発生に関するモデルを構築する際に使用されるべきであり、特定地域の既知の気候学と併せて、その地域の設計基準事象を決定するこ

---

<sup>13</sup> 一部の加盟国では、原子力発電所の立地地点における敷地内気象監視プログラムに対する独自の指針と基準を発行している。

とに寄与すべきである。まれな気象現象（例えば、竜巻）による影響を実際に受ける地域はしばしば比較的狭い範囲であり、場合によっては、該当する適切なデータの蓄積が困難となる場合がある。

3.25. まれな気象現象に関するデータの収集に続いて、完全性に対する適切なチェックを備えた特別な専用目録がまとめられるべきである。

## リモートセンシング

3.26. 多くの加盟国では、国の気象機関が気象レーダー網を運用するか、又は地表気象パラメータの宇宙からの観測値を取得する設備を有している。これらのデータセットの中にはかなり長期間の記録が存在するものがあり、地表の風速及び気温並びに降水量の推定値を含む可能性がある。これらのデータが適切に利用されるべきである。

## 水文学的データ

### 全般的な推奨事項

3.27. 水文学的データは、立地地点に応じて、次のデータを含むべきである。

- 地下水及び関連する全ての水体の水文学的特性並びに地表の水体の位置。さらに、地下水に関連する地質条件に関する情報が入手されるべきである。
- 立地地点の上流及び下流の両方の、立地条件に影響しうる既存及び計画中の水管理構造物の位置と仕様

3.28. 大洋及び海洋の潮汐による影響を受ける海岸地域に位置する立地地点に対しては、潮位の範囲が決定されるべきである。この範囲は場所により大きく異なることがある。潮位の振動を分調成分に分離する調和解析が潮汐の計算に使用される。潮汐の予測のための調和定数は、立地地点近くの検潮所で得られたデータから導かれ、また、国の当局から得られる場合もある。

3.29. 潮汐現象以外の水位の範囲は、以下を考慮して入手されるべきである。

- 水位の記録は、考えられうる現象について立地条件を代表する<sup>14</sup>、当該立地地点及び／又は全ての水位観測点での全ての関連水体について入手されるべきである。最も長い期間の水位記録が取得されるべきである。水位測定値が適切な時間尺度で収集されることを確実なものとするため、データ収集の頻度に注意が払われるべきである。例えば、静振や津波に関連する現象に伴う水位測定は数十秒から数分の範囲となるのに対し、河川の洪水に伴う水位測定は数時間から数日の範囲となる場合がある。
- 波の特性（方向、振幅と周期、波の数と継続時間）が報告されるべきである。海岸及び沖合の波の測定は、検潮儀、津波計、波浪ブイ及び／又は衛星データを使用して入手されるべきである。

---

<sup>14</sup> 水文モデルは、別の立地地点で利用可能なデータを使用して、特定の立地地点の水文データを決定するために用いることができる。

3.30. 次の情報源から流量に関連する測定値と情報が入手されるべきである。

- 立地地点付近及び/又は立地条件を代表する全ての観測所での全ての関連水体に関する流量記録地地点付近の観測所での水位を流量と関連付ける水位流量曲線。
- 水位を流量と関連付けるために数値モデルが使用される場合もある。人為的改変並びに水深及び/又は地形の変化によって水位と流量の関係が劇的に変わることがあるため、水位流量曲線が作成された時期に注意が払われるべきである。

3.31. 透水性及び間隙率に関するデータのような地質媒体及び埋戻し材から得られる水文地質学データが立地地点周辺において収集されるべきである。地下水の測定値は次のように入手されるべきである。

- 適切な帯水層での地下水の水位と圧力を監視するためにピエゾメータが立地地点に設置されるべきである。データの収集期間は季節変動と年変動の両方を捕捉するため十分に長くするべきである。特に、き裂系又はカルストの帯水層に対しては、豪雨事象の影響を観測するために高頻度のデータセットが有益である。これに関しては、詳細な手引きについて参考文献 [3]を参照のこと。
- 地下水の汲み上げ、人工涵養及び埋戻しの場所と規模のような人為的活動の影響に関する情報も入手されるべきである。人口の変化と開発に基づいて予想される将来的な傾向が考慮されるべきである。
- 地下水位の長期的記録は、同じ地域の井戸の水位及び類似の水文地質学的状況における水位に関するデータから入手されるべきである。これは、極端な気象条件が地下水位に及ぼす影響の推定を可能とし、大規模な地下水汲み上げによる傾向のような長期的傾向を調査するためである。

3.32. 他の測定値と情報は次の情報源から収集されるべきである。

- 立地地点及びその付近での過去の氷盤の発生並びに氷の面積、厚さ及び継続時間。立地地点付近で晶氷が発生する可能性に特別な注意が払われるべきである。
- 潮汐及び風によって誘起される海浜流及び沿岸流の測定値 (参考文献 [3]を参照のこと)

### 地球物理学的、地質学的及び地震学的なデータ

3.33. (a) 具体的な立地地点の地質及び (b) 立地地点に適切であれば津波現象の発生源に関して、地球物理学的データと地質学的データの2種のデータセットが考慮されるべきである。立地地点周辺で収集されるべき具体的な地質学的データは以下に関するデータである。

- 汀線の安定性と「侵食特性」
- 特に、原子力発電所の取水構造物付近における粒径分布及び化学組成などの堆積物の特性
- 透水性及び間隙率などの水文地質学的特性
- 地すべりの可能性

沿岸と水中の両方での3種類の「津波発生」源が検討され、特定されるべきである。

- 大規模な「地震発生」構造

- 地すべり
- 火山活動

3.34. 原子力発電所の立地地点が位置する場所に関係する水体に対して、津波波源パラメータと津波発生の可能性に関するデータが収集されるべきである。近地及び遠地の両方で潜在的な激しい津波の発生機構の特性を判断するために使用するため、以下の地球物理学的、地質学的及び地震学的なデータが推定される年間発生頻度とともに収集されるべきである。

- 地震により引き起こされる津波： 発生日と発生時刻、震央の位置、深さ、マグニチュード、地震モーメント、発震機構（断層面の走向、傾斜、すべり角）及び破壊域のパラメータ（幅、長さ、すべり量、剛性率、速度、ライズタイム）。（手引きについては参考文献 [4]を参照）
- 地すべりにより引き起こされる津波： 位置、地層の種類と流動特性、形状（例えば、傾き、大きさ、体積）を含む地すべり及び崖の特性
- 火山現象により引き起こされる津波： 参考文献[8]で定義されるように、津波を引き起こす可能性がある火山の全ての特性

3.35. 津波ハザードの可能性の評価及び津波ハザードのパラメータの決定に関連する全てのデータが、立地地点固有の津波目録にまとめられるべきである。この目録では、層序学及び他の地質学的研究による津波に関する全ての既往情報と古痕跡の証拠が考慮されるべきである。

### 地形学的データ及び深淺測量データ

3.36. 次の地形学的データが収集されるべきである。

基準とされた水準原点及び水平原点。異なる時期に実施された調査は異なる調査グリッド又は基準点を使用して行われた場合があることに特別な注意が払われるべきである。各データセットで用いられたグリッド又は基準点が明示されるべきである。

- 立地地点周辺（典型的には半径 5 km）の等高線間隔 5～10 m の一般的な地形図
- 発電所の建設前及び建設後を含め、立地地点区域及び浸水する可能性がある立地地点を直接取り囲む区域の等高線間隔（分解能）1 m で適切な精度を有する詳細な地形図
- 集水域の境界
- 土地利用、植生等に付随するあらゆる粗さを含む氾濫原の特性
- 流路の短絡、沈降及び隆起を含む過去に発生した河道移動の現象。地域の地形学的データは将来の河道変化の可能性を評価するために確認されるべきである。
- 立地地点周辺の堤防及びその他の護岸構造物の立面図と仕様
- 例えば大規模地震による最近の地形の変化

3.37. 原子力発電所の立地地点に対して集められるべき深淺測量データは、以下のデータを含むべきである。

- 地形データと共通の水準原点及び水平原点
- 該当する水体の深淺測量、特に、発電所立地地点付近の汀線沿いの詳細な深淺測量。津波又は高潮のモデル化が提案されている海岸の立地地点については、10 m 以下の空間的測量間隔で、水深約 100 m の沖合いまで延長した深淺測量データが集められるべきである。

- 長期的及び短期的な侵食及び／又は堆積のデータ（過去の調査、地図、航空写真及び衛星画像などの情報源から）
- 例えば大規模地震による最近の深淺測量の変化

地形のデータセットと深淺測量のデータセットを突き合わせる際には、特別な注意が払われるべきである。

## 人為的活動に関するデータ

3.38. 水文学的ハザードに影響を及ぼす人為的活動の可能性を評価するために、関連するデータが収集されるべきである。海岸沿いでは、港湾、防波堤、防潮堤及び水門のような沖合及び沿岸付近の構造物の影響並びに既存及び計画中の土地利用（例えば、住宅、森林、及び耕作）の影響が考慮されるべきである。これらの構造物については、建設時期、全体的な寸法及び／又は建設計画、並びに運営管理及び／又は運転管理の責任者が入手されるべきである。

3.39. 河川流域では、人為的活動は主として2種類の活動の変化により水文学的プロセスに干渉する。すなわち、土地利用の変化並びに既存又は新規の河川構造物に付随する既存の流路及び谷の変更の2種類である。該当する過去及び可能性のある将来の人間活動に関する情報が収集されるべきであり、これには以下のものが含まれる。

- 河川流域での土地利用の変更、特に、次のものの変更：植生範囲、耕作区域及び農業の方法；伐採の区域と方法（森林伐採）；都市化区域；豪雨の排水方法；輸送網及び特性；採鉱及び採石の活動並びにそれに付随する堆積物
- 次の種類の構造物に付随する流路及び谷の変更：ダム及び貯水池；堰及び閘門；河川沿いの堤防及び他の洪水防護構造物；流域内外への分水；放水路；水路の改善及び改修；橋及び交通機関敷設のための盛土

3.40. 関連する河川構造物に関しては、以下のデータが提示されるべきである。

- 建設、試運転及び運用開始の時期
- 運営管理及び運転管理の責任者
- 主要構造物及び重要な付帯施設の性質と種類
- 貯水特性、洪水設計に関するデータ並びに最大、通常及び平均時の貯水高と貯水量の評価において考慮された安全係数
- 洪水管理及び緊急時の運用の取り決め
- 設計流入量に対するハイドログラフ
- 耐震設計基準
- 防護対象区域の規模と場所
- 水流、氷、堆積物及び漂流物への影響
- 河川の侵食又は堆積への影響

## 4. 気象学的ハザードの評価

### 全般的な手順

4.1. 気象パラメータの極値又はまれな危険な現象の発生に付随するハザードを評価する全般的手順には以下の過程が含まれる。

- (a) 解析対象の地域に対して利用可能な代表的データの調査及びその品質の評価（代表性、完全性、品質保証プログラムの有効性及び均質性）
- (b) データセットに対して最も適切な統計分布の選定
- (c) 検討対象パラメータの確率分布関数の積率（期待値、標準偏差、必要であればその他）を評価するためのデータの処理。これらから平均再現期間及び関連する信頼限界を推定することができる。

4.2. 気象パラメータの年間極値は確率変数の標本を構成し、これは特定の確率分布によって特性付けられる場合がある。原則として、データセットは調査対象のデータセットに適する確率分布関数を用いて解析されるべきである。中でも、一般化極値分布、すなわち、フィッシャー・ティペット（Fisher-Tippett）のI型「グンベル（Gumbel）分布」、II型「フレッシェ（Fréchet）分布」及びIII型「ワイブル（Weibull）分布」が広く使用されている。

4.3. 極値分布をわずか数年分の記録を代表するデータセットに適合させようとする際には注意が必要である。統計的手法を使用して非常に長い期間にわたって外挿が実行される場合、その変数の物理的限界が十分に考慮されるべきである。利用可能な記録の期間をはるかに超える期間に外挿する場合にも注意を払うべきである（サンプルの期間の4倍を超える「再現」期間の場合など）。外挿方法は文書化されるべきである。

## 極端な気象現象

4.4. 極値が決定されるべき気象変数は、第2章で示されたように次の変数である。

- 気温
- 風速
- 降水量（水当量）
- 積雪

全てのデータには、データに関する説明情報（メタデータ）が付加されるべきである。

4.5. データ処理においては、検討対象の確率過程の考えられる非定常挙動が考慮されるべきである。これは他の現象の中でも気候の短期的変動性及び長期変動を反映する場合がある。気象変数における傾向は、地球温暖化の問題が起きる前には考慮されていない。設計目的のための基準は、この可能性のある非定常挙動を記述するべきである。

## 気温

### ハザード評価

4.6. 実行される敷地内観測プログラム（3.19～3.21項を参照）から立地地点固有のデータが収集されるべきであり、地域における敷地外の既存の気象観測所のデータとの比較が実施されるべきである（3.14～3.18項参照）。そのような比較により、気象条件が立地地点と類似し、長期的記録が利用可能な観測所を特定することを可能とすべきである。この類似性は敷地内観測プログラムにより検証されるべきである。

4.7. 敷地外監視プログラムで収集される日最高気温及び日最低気温（1日の気温の瞬間値の極値）のデータセットは、年間極値を特定するために使用されるべきである。これらの年間極値は2.24～2.26項で説明された統計手法の適用により求められるべきである。これらの極値は発電所の設計のために必要である（例えば、建屋及び構造物に対する熱負荷の構造解析のため）。

4.8. 敷地外監視プログラムから収集される1時間ごとの環境の乾球温度及び露点温度のデータセットは、乾球温度と露点温度<sup>15</sup>のさまざまな年間パーセンタイル値を特定するために使用されるべきである。年間パーセンタイル値は、平均して、年間に総時間数（すなわち、8,760時間<sup>16</sup>）の示された百分率の時間によって超過される値である。これらの年間パーセンタイル値は発電所の設計に必要な（例えば、暖房、換気、空調及び除湿設備の設計のため）。環境の乾球温度及び露点温度が特定の値の範囲に留まる期間（持続性）の推定値も発電所の設計目的に必要な場合があり、データ解析で考慮されるべきである。

4.9. 最終ヒートシンクに対して蒸発を基本とする設計（例えば、機械通風式冷却塔）を利用する原子力発電所については、(a) 最大蒸発能力 及び (b) 最低水冷却（例えば、冷却塔の冷却能力）を代表する気象条件を特定するために、敷地外監視プログラムにおいて収集される1時間ごとの環境の乾球温度及び湿球温度のデータセットが使用されるべきである。これらの気象条件は、最終ヒートシンクに対する蒸発を基本とする設計に十分な冷却水供給があり、安全関連設備に含まれる機器等の設計基準温度を超えないことを確実なものとするために必要である。

4.10. データが取得される各気象観測所の説明とその地理的条件は、ハザードを評価するために実施される解析の報告書に含めるべきである。

#### ハザード評価から導き出すパラメータの値

4.11. 極端な気温に対するハザード評価の結果は、乾球温度の最高値とその際の湿球温度、湿球温度単独の最高値、及び乾球温度の最低値の特定を含む。気温の適切な極値は、付随する信頼区間とともに、所定の閾値の年超過頻度によって特性付けられるべきである。非常に高い温度又は非常に低い温度の持続性も考慮すべき因子となる場合がある。

## 風速

4.12. 強風は、総観規模の低気圧<sup>17</sup>、特定の積乱雲の形成（雷雨とそれに伴うダウンバースト）、前線通過とスコールライン、ブリザード、フェーン、重力により誘起される気流（例えば、カタバ風（斜面下降風））及び他の局地的現象など、いくつかの異なる気象現象によって引き起こされる場合がある。

#### ハザード評価

---

<sup>15</sup> 毎時の湿球温度は、乾球温度、露点温度（又は相対湿度）及び気圧の同時測定値から計算することができる。

<sup>16</sup> 例えば、解析された記録期間に対して、1年あたり平均で88時間及び175時間が超過する1.0%値及び2.0%値が典型的な設計条件である。同じように、98%値と99%値は、該当する気象要素が175時間と88時間、設計条件よりも低い寒冷気象パラメータである。

<sup>17</sup> 出典によっては、また、国内慣行や習慣によっては、総観規模の低気圧は温帯低気圧（'extra-tropical' storm、'extra-tropical' depression 又は'extra-tropical' cyclone）と呼ばれることもある。



4.13. 実行される敷地内観測プログラム (3.19～3.21 項を参照) から立地地点固有のデータが収集されるべきであり、地域における既存の敷地外の気象観測所のデータとの比較(例えば、月間又は季節的データ及び風速と風向の年間の同時頻度分布) が実施されるべきである (3.14～3.18 項参照)。そのような比較により、気象条件が発電所立地地点と類似し、長期的記録が利用可能な観測所を特定することを可能とすべきである。

4.14. 極端な風の統計の評価に対するデータ処理は、(a) 均一な平均化時間、(b) 均一な高さおよび土壌表面粗度、及び、可能ならば、(c) 局地的な地形影響の補正に関して標準化されるべきである。使用すべき風速値は、設計にとって極めて重要であると判断される継続時間を伴う風速値とするべきである。

4.15. 全ての風のデータが同じ地上高で収集されるわけではない。その高さは観測所ごとに異なる場合があり、同じ観測所であっても異なる期間に異なる高さでデータが収集される場合がある。このような場合、データはその場所の粗度に適した調整可能な係数を有する鉛直プロファイルを使用して標準の高さ (通常は地上 10 m) に標準化されるべきである。

4.16. 敷地外監視プログラムから収集された風速値のデータセットが年間極値を特定するために使用されるべきである。これらの年間極値は、2.24～2.26 項で説明された統計手法の適用によって求められるべきである。

#### ハザード評価から導き出すパラメータの値

4.17. 極端な風速に対するハザード評価の結果には、発電所の設計パラメータを指定するという目的に適した信頼区間とともに、所定の閾値の定義された年超過頻度に相当する最大風速の決定が含まれる。通常、これらの値は発電所の設計に必要である (例えば、建屋及び構造物に対する風荷重の構造解析のため)。

### 降水量 (水当量)

4.18. この項では、液相の降水量又は固体降水の水当量を一般的に取り扱い、固相と液相を区別しない。

#### ハザード評価<sup>18</sup>

4.19. 立地地点が気候学的に周辺の気象観測所の立地地点と類似しているかを確認するため、降水型の地域的評価が実施されるべきである。そのような評価は、解析のための一連の長期的データを提供するのに最も適した気象観測所を選択するために実施される。選定プロセスは微気象学的特性、メソ対流系及び地形影響を対象とすべきであるが、これらに限定されるべきではない。敷地内観測プログラムにおいて収集されるあらゆる補足的データが考慮されるべきである。

4.20. 極端な最大降水量に対するハザード評価は、できれば貯水型又は転倒ます型雨量計などの連続記録雨量計を備える敷地外観測所のデータを使用するべきである。これらのデータは気象レーダーのデータにより補足される場合がある。敷地外監視プログラムにより

---

<sup>18</sup> 一部の加盟国では、極端な降水量の値は、決定論的アプローチを使用して国の気象機関により生成された既存の想定可能な最大降水量特性を使用して定義される。

収集される降水量のデータセット全体が極値を特定するために使用されるべきである。これらの極値は 2.24～2.26 項で説明された統計手法の適用によって求められるべきである。これらの極値は発電所の設計に必要である（例えば、立地地点の排水系のため）。

4.21. 立地地点周辺に連続して記録するネットワークはないが、気候学的に立地地点と異なる観測所において一定間隔で測定した総降水量が存在する場合、相似性概念を使用してもよい。この方法では、3 時間、6 時間又は 12 時間などの平均化期間で行われた既知の連続的測定値から、雨量-降雨継続時間の関係を用いて、24 時間などの特定の平均化期間内に発生するであろう最大事象を推定するために、一般的な統計関係式が適用される。

4.22. 極端な降水量解析の結果が報告される際には、気象観測所の説明と地理的条件を含めるべきである。いかなるデータ調整も、解析結果とともに報告されるべきである。

4.23. 立地地点及びその周辺での低水位条件の完全な履歴もまとめられるべきである。これらの事象について現象の種類、位置及び継続時間の完全なリスト並びにこれらの事象に伴う水文気象学的特性の記述が含まれるべきである。これらのリストと記述は、立地地点周辺における干ばつの履歴を確立するのに十分なものとすべきである。

#### ハザード評価から導き出すパラメータの値

4.24. 極端な最大降水量に対するハザード評価の結果には、典型的には 5 分から 24 時間又はそれ以上の、さまざまな期間における積算雨量の最大値の特定が含まれる。発電所設計のために、それぞれの期間の極端な総降水量として適切な値は、それに伴う信頼区間とともに、与えられた閾値を超過する年間頻度によって特性付けられるべきである。

4.25. 極端な最小降水量に対するハザード評価の結果は、その地域において合理的に起こりうると考えられる最悪の干ばつの特定を含むべきである。

## 積雪

4.26. 積雪による構造物への荷重は、積雪深と積雪密度の両方に依存することになる。これら 2 つのパラメータは、積雪深を水当量の深さで表すことにより簡便に結びつけることができる。

#### ハザード評価

4.27. かなりの降雪がその地域で発生する場合、降雪分布の評価が実施されるべきである。吹雪の後に立地地点で得られるリモートセンシングデータは、この作業で有用となる場合がある。考慮されるべき変数には、降雪強度並びに積雪深、積雪密度及び積雪範囲が含まれる。

4.28. 地表の雪が長期間にわたり残る寒冷地域では、積雪深と圧密の状態が場所ごとに異なることになるため、設計基準積雪を推定する際には注意が払われるべきである。選択される気象観測所は、発電所候補地と同等な地形的位置にある観測所とするべきである（したがって、例えば、南向き斜面の気象観測所のデータは、北向き斜面の発電所の立地を検討する際に使用するべきではない）。

4.29. 気象観測所で測定される値が発電所立地地点での値と大きく異なる場合があるような密度でしか気象観測網が存在しない山岳地域では、立地地点固有の評価が実施される

べきである。発電所立地地点は、雪荷重に影響しうるいかなる局地的要因（近くの構造物及び地形など）も考慮して、それぞれの状況に応じて評価されるべきである。

#### ハザード評価から導き出すパラメータの値

4.30. 極端な積雪に対するハザード評価の結果には、水当量と年超過頻度の決定を含むべきである。発電所の設計のために、各期間の極端な積雪量として適切な値は、それに伴う信頼区間とともに、与えられた閾値を超過する年間頻度によって特性付けられるべきである。

4.31. 極端な積雪に対するハザード評価で考慮されるべきもう1つの因子は、積雪後に加わる雨の追加重量である。したがって、積雪の水当量重量は、低い超過頻度でしか発生しないような降雨量レベルによって補足されるべきである。

#### まれな気象現象

4.32. 評価を行うべきめったに発生しない危険な気象現象は次のとおりである。

- 雷
- 熱帯低気圧、台風及びハリケーン
- 竜巻
- 水上竜巻

#### 雷

##### 現象の全般的な説明

4.33. 雷は最も一般的には雷雨の中で発生する目に見える放電である。雷による過渡現象は、極めて高い電圧、電流及び電流上昇率を呈する。通常、被害は直接又は誘起（間接）のいずれかに分類される。特定の状況下で発生する極端な電場によって先端放電が生じ、碍子の中で最も堅牢なものを除いて絶縁破壊（又は導電経路）を引き起こす可能性がある。落雷の経路が確立されると、数十 kA から数百 kA の電流が流れる。

4.34. 現在は、いつ、どこで落雷が発生することになるかを予測することは可能ではないものの、統計情報は、雷の活動が起きやすい地域並びに雷の活動が最も発生しやすい季節及び時刻の目安を提供することができる。雷は閃光ごとに特性が大きく異なり、測定が困難で予測不可能な過渡現象であることに留意するべきである。

##### ハザード評価

4.35. 特定の期間における落雷の頻度は、構造物又は物体の等価捕集面積（構造物の長さ、幅及び高さの関数として定義される）と、構造物が位置する区域でのその期間における雷撃密度との積である。

4.36. 雷撃密度を決定するための望ましい方法は、現在いくつかの加盟国で運営されている雷監視網から導かれる雷撃密度マップの利用である。雷撃密度マップが入手できない場合、雷の発生に関するデータを入手する代替方法は雷雨日数分布図である。この分布図は、特定の地域が経験すると予想される月間又は年間の雷雨日数を表す等値線を提示する。雷

雷雨日数分布図は長期間（例えば 30 年間）にわたる気象機関の記録に基づいている。雷雨日は訓練を受けた観測員が 1 日の間に少なくとも 1 回は雷鳴を聞く日と定義される。一般的には、世界中の大量のデータに基づき、平均の雷撃密度は 1 平方キロメートルあたりで 10 雷雨日あたりに 1~2 回の対地放電があると見積もられている。雷雨日数分布図では、特定の日に聞かれた雷鳴が 1 回でも 100 回でも、1 雷雨日と数えられることになるため、実際の雷活動の指標としては不十分である。さらに、最近の研究では、雷の閃光が検出された場合でもその 20~40%では雷鳴が聞こえなかったとされている。

### ハザード評価から導き出すパラメータの値

4.37. 雷に対するハザード評価は、計画された原子力発電所に対する落雷の年超過頻度の推定値を結果とするべきである。

## 熱帯低気圧、台風、ハリケーン

### 現象の全般的説明

4.38. 熱帯低気圧は暖気を中心核、すなわち低い気圧の中心領域の周囲を吹く風の大規模循環である。台風は西太平洋で発生する熱帯低気圧であり、ハリケーンは大西洋、カリブ海、メキシコ湾及び東太平洋で発生する熱帯低気圧である。熱帯低気圧は高波と高潮だけでなく、極めて強い風と豪雨をもたらすことがある。

4.39. この項では、設計基準の目的に対して原子力発電所立地地点に対する特徴的な熱帯低気圧の風速の策定を取り扱う。熱帯低気圧における高潮と大雨分布の考慮は、本安全指針の水文学的事項を取り扱う章で議論されるように洪水ハザードの評価の開発に含まれる。

### ハザード評価

4.40. 立地地点でのこの種の気象現象の発生に対する傾向が評価されるべきである。立地地点が熱帯低気圧の影響を受ける場合、熱帯低気圧による設計基準風速を策定するために、統計的アプローチと決定論的アプローチが組み合わせて使用される。統計的-決定論的アプローチでは、熱帯低気圧に起因する強風は、極端な風のハザードを検討するうえで考慮されてきた。気候学的熱帯低気圧の統計的性質は、特定の場所に対する風速の確率分布を決定するために、数千もの暴風雨の経路シミュレーションを生成する決定論的数値モデルと組み合わせられる。

4.41. 熱帯低気圧に対するパラメータを評価する方法は、熱帯低気圧の構造に関する理論的研究の結果に依存し、気象観測網、衛星及び航空機からの大量のデータ並びにモデル化から得られたデータを結合する。熱帯低気圧の関連パラメータの評価のための一般的な方法が得られる。

4.42. 熱帯低気圧の移動特性並びに陸地及び海への影響について、多くのことが知られている。しかし、熱帯低気圧の地表及び上空での気象観測値は、いくつかの地域では対象範囲又は記録期間の面でまだ不十分であることが考慮されるべきである。熱帯低気圧が陸上を移動する時、通常は衰弱期にあり、比較的高密度の陸上観測網の観測値でさえ、熱帯低気圧が海岸線を横切る際の最盛期の特性を代表するものではない場合がある。

4.43. 近年、極軌道気象衛星及び静止気象衛星からの高解像度画像が、多くの国の気象機

関で容易に利用可能となっている。そのような画像は、熱帯擾乱の検出と追跡、その激しさの推定及び雲の位置する高度での風の場の導出に対して貴重な情報を提供する。それにもかかわらず、熱帯低気圧については、正確に測定できるパラメータの数がまだあまりに少ないため、最大値を評価するプロセスに必要な、関係する基本的な物理プロセスの信頼できる説明を示すことができない。

4.44. 気象観測航空機からの報告は、熱帯低気圧について重要な追加情報を提供する。そのような報告からのデータは、熱帯低気圧の中心領域の3次元構造を解明するために従来の実況データとともに広く使用されている。強烈な熱帯低気圧の航空機による観測が、日本、台湾（中国）及びフィリピンの沿岸で実施されており、一方、メキシコ湾とアメリカ合衆国東海岸沿いではあらゆる暴風雨の詳細解析が実施されている。

4.45. 熱帯低気圧に対する暴風雨パラメータについては、次のデータが収集されるべきである。

- 最低中心気圧
- 最大風速
- 地表付近の水平風の鉛直分布
- 目の形状と大きさ
- 目の内部の温度及び湿度の鉛直分布
- 目の上空の圏界面の特性
- 定期的な、できれば6時間ごとの熱帯低気圧の位置
- 海面温度

4.46. いくつかの変数の「極」値の決定に関しては、記録された「最高」値及び「最低」値が確認されるべきである。実況観測は不連続な時間間隔で行われるため、これらの値のいくつかは、陸上施設若しくは海上船舶からの特別な気象報告又は天気図から得られる追加情報を使用して決定される場合がある。

4.47. 低気圧が発生する際に地域において卓越する通常状態又は「乱されていない」状態の全体像が取得されるべきである。この目的のために、次の項目を示す気候学的な図表又は解析が精査されるべきである。

- 海面更正気圧
- 海面温度
- 指定気圧面及び圏界面の気温、高度及び水分量（露点温度）

4.48. 熱帯低気圧のパラメータを評価するために使用されるデータのほとんどは、開放水域上の暴風雨に付随するものであり、厳密に言えば、この方法は開放性海岸の立地地点にのみ適用可能である。内陸部については、地形及び地面摩擦の影響が精査され、定量化されるべきである。さらに、極地に向かって移動する暴風雨は、一般的に準対称的な熱帯性の特性を失い、明確な温度差を有する総観規模の低気圧の構造に向かって進展することが知られている。高緯度の発電所に対する立地評価を検討する際には、低緯度の立地地点のために策定された基準に修正がなされるべきである。

4.49. 過去20年間に蓄積された航空機観測データが利用可能であるにもかかわらず、関連する熱帯低気圧のいくつかのパラメータの数時間の間での時間変化はまだほとんどわかっていない。いくつかの成長した熱帯低気圧では、内部中心領域における時々刻々の変化が記録されており、これらの変化が考慮されるべきである。

4.50. 特定の発電所立地地点に対するモデルの適用性を決定するために、局地的条件、立地地点の特色及び過去のデータが慎重に評価されるべきである。可能な場合には、付近を横切った熱帯低気圧の特性を決定するために事例調査が行われるべきである。立地地点の300～400 km 以内を通過した既知の全ての熱帯低気圧が調査に含まれるべきである。

#### ハザード評価から導き出すパラメータの値

4.51. 熱帯低気圧、ハリケーン又は台風に対するハザード評価は、定められた年超過頻度に対応する最大風速を結果とするべきである。風速の鉛直分布、指定レベルを上回る風強度の継続時間、風によって生じる投射体といった設計に重要な他の特徴も記述されるべきである。

## 竜巻

### 現象の全般的説明

4.52. 竜巻は、一般的には激しく回転する気柱と説明され、通常は雷雨を伴う。竜巻が発電所の建屋又は構築物に襲来する場合、次の原因で被害が発生する場合がある。

- (a) 非常に激しい風が繰り返し打ちつける効果
- (b) 竜巻の中心の通過に伴う突然の気圧低下
- (c) 竜巻によって発生する飛来物が発電所の構築物及び設備に及ぼす影響

さらに、竜巻は洪水を誘発する場合があり、その結果、追加的な間接被害の原因となる場合がある。

### ハザード評価

4.53. 竜巻現象は世界中で記録されている。地域において竜巻が発生する可能性があるかを確認するため、可能な限り長い期間の情報が収集されるべきである。

4.54. 地域において竜巻が発生する可能性が確認された場合、設計基準竜巻の評価に適するデータを入手するために、より詳細な調査が実施されるべきである。

4.55 藤田-ピアソンによって策定された強度分類方式と類似の方式又は最近導入された改良藤田スケールが選択されるべきである。この体系は、風速に対して等級付けを行う藤田スケール、被害域の長さに対するピアソンスケール及び被害域の幅に対するピアソンスケールを組み合わせたものである。個々の竜巻の分類は損害の種類と程度に基づいている。被害地域の記述及び写真は竜巻の分類に対する追加の手引きとなる。一般的には、国の気象機関により保存される竜巻データベースは、藤田-ピアソンスケール及び改良藤田スケールと類似の強度分類方式を含む。

4.56. 特定の発電所立地地点が指定値を超える竜巻風速を経験することになる年超過頻度は、竜巻の記録調査から導き出されるべきである。立地地点を中心とする均質な地域が竜巻の記録を作成する対象として考慮されるべきである。一般的には、約100,000 km<sup>2</sup>の範囲が適切である。

### ハザード評価から導き出すパラメータの値

4.57. 竜巻に対するハザード評価の結果は、特定の立地地点が指定値を超える竜巻風速を経験することになる年超過頻度とするべきである。

4.58. 風速を尺度とする設計基準竜巻を決定した後、最大想定気圧低下と最大気圧低下率を求めるために竜巻モデルが選択されるべきである。竜巻によって発生する投射体もその質量と速度の面から規定されるべきである。

## 水上竜巻

### 現象の全般的説明

4.59. 水上竜巻は、一般的に、「竜巻型」水上竜巻と晴天水上竜巻の2つに区分される。

- 竜巻型水上竜巻は水上で発生するか又は陸地から水上に移動する竜巻である。それらは陸上竜巻と同じ特性を持つ。それらは激しい雷雨に付随しており、しばしば強風と高波、大きな雹、頻繁に起こる危険な雷を伴う。
- 晴天水上竜巻は、一般的にはより広く発生している。それらは通常はあまり激しくない現象で、最も一般的には、夏の晴天時の比較的穏やかな天候の際に発生する。晴天水上竜巻は、通常、線状に発達しつつある積雲の薄黒い平らな基部に沿って生じる。この竜巻が関係する雲は、典型的には水平方向には動きがないため、移動するとしても、典型的にはゆっくりと移動する。多くの水上竜巻は熱帯で発生するが、北米の五大湖地方及び欧州のような温帯のかなり北部(又は南部)の場所でも水上竜巻が報告されている。

4.60. 水上竜巻は近くの水域から陸域まで大量の水を運ぶ場合がある。

### ハザード評価

4.61. 立地地点での水上竜巻の発生可能性が評価されるべきである。多くの加盟国では、国の気象機関が水上竜巻を特定し記録し始めており、また、その強度とその他の基本特性を評価し始めている。国の気象機関は、通常、船、航空機、気象観測者、沿岸警備隊及び一般公衆といったさまざまな情報源から水上竜巻の情報を受け取っている。最近の研究では、監視網が不十分である場合、この現象の発生が過小に報告される可能性があることが示されている。

### ハザード評価から導き出すパラメータの値

4.62. 地域に水上竜巻の履歴がある場合、年超過頻度及び強度の範囲を決定するために水上竜巻に対するハザード評価が使用されるべきである。これに伴う降水量は排水系の設計で考慮されるべきである。

## 他の気象現象

4.63. 原子力発電所の安全に対して悪影響をもたらす可能性がある他の現象には、次のものが含まれる。

- 砂塵嵐及び砂嵐
- 雹
- 着氷性の降水及び霜に関連する現象

その可能性が確認された場合、ハザードが評価され、これらの事象に対する設計基準が導き出されるべきである。

## 砂塵嵐及び砂嵐

### 現象の全般的説明

4.64. 砂塵嵐及び砂嵐は、乾燥地域及び半乾燥地域において一般的である。それらは、乾燥した地表から軟弱砂と砂塵が取り去られて浮遊性となる閾値を風力が超えるときに発生する。「砂塵嵐」という用語は、細かい粒子が長距離を吹き飛ばされる時に最も多く使用されるのに対し<sup>19</sup>、「砂嵐」という用語は、視程をさえぎる細かい粒子に加え、相当量のより大きな砂の粒子が浮遊性となり地表近くに吹き飛ばされる時に使用されることが多い。

### ハザード評価

4.65. 立地地点でのこの種の気象現象の発生可能性が評価されるべきである。視程が10 km以下で、風速が閾値（例えば、5.8 m/s）を超え、相対湿度が閾値（例えば、70%未満）を下回る場合、砂塵嵐と砂嵐の頻度が毎時気象観測に基づいてまとめられるべきである。視程の観測値を用いた経験的關係式に基づいて、砂塵又は砂の濃度の適切な値が計算されるべきである。

### ハザード評価から導き出すパラメータの値

4.66. 立地地点に関係する場合には、砂塵嵐及び砂嵐に対するハザード評価の結果は、過去の砂塵嵐又は砂嵐のうち、砂塵又は砂の含有量の時間積分値が最大となったケースにおける砂塵又は砂の総含有量 ( $\text{mg}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ )、継続期間 (h)、砂塵又は砂の平均含有量 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) とするべきである。

## 雹

### 現象の全般的説明

4.67. 雹は不揃いな氷の塊の球体（雹粒子）からなる降水の一形態である。雹粒子はほとんどが氷から構成され、直径5～150 mmの大きさである。雹の終端速度（雹が地表に衝突する際の落下速度）は、雹粒子の直径、空気との摩擦及び風速によって異なる。雹は、自動車に被害を与え、木々を倒し、原子力発電所に外部電源喪失をもたらすことが知られている。

### ハザード評価

4.68. 発電所立地地点でのこの種の気象現象の発生可能性が評価されるべきである。立地地点地域における降雹事象の頻度及び最大雹粒子の大きさが国の気象機関によって整備されるデータ記録から入手されるべきである。

---

<sup>19</sup> 北アフリカのサハラ砂漠からの砂塵嵐は、欧州、北アメリカ及びカリブ海地域で定期的に観測されている。



### ハザード評価から導き出すパラメータの値

4.69. 立地地点と関係する場合、雹に対するハザード評価の結果には立地地点周辺の過去の記録に基づいた最大の雹の大きさの推定及びその粒子の終端速度の推定を含めるべきである。

### 着氷性の降水及び霜に関連する現象

#### 現象の全般的説明

4.70. 着氷性の降水は、地表面温度及び地上の気温が氷点下の時に降る降水である。水滴は過冷却となり、土壌や他のあらゆる表面との衝突で凍結し、その結果氷の層を形成する。雨氷、雪、霧氷及び雲中着氷による氷が構造物の静荷重と応答を増加させることが知られている。重要な影響は、送電線導体の風作用に対する静的及び動的な応答の大幅な増加に関連する。これと類似するが、通常はそれほど顕著でない影響は、寒冷条件下の鋼製トラスで頻繁に予想されるべきである。さらに、冷却系における氷の形成は、その効率に影響する可能性がある。

#### ハザード評価

4.71. 発電所立地地点でのこの種の気象現象の発生可能性が評価されるべきである。設計基準氷厚及びその際の風速を定める際は、局地的な記録と経験が考慮されるべきである。しかし、自然に発生する着氷の直接的な情報又は観測値の情報源はほとんど利用できない場合がある。一部の加盟国では、鉄道、電力会社及び電話会社の団体が電線等への着氷の発生に関する情報をまとめた報告書を発行している。その他の加盟国では、着氷の影響を受けやすい構造物の設計に考慮すべき着氷荷重に関する勧告を含む業界標準が策定されている場合がある。

4.72. 過去の気象データから等価ラジアル氷厚を決定する際には、データの品質、完全性及び正確性が、着氷に関するアルゴリズムの頑強性ととも考慮されるべきである。

### ハザード評価から導き出すパラメータの値

4.73. 発電所立地地点と関係する場合、着氷性降水及び霜に関連する現象に対するハザード評価の結果には、氷厚のノミナル値及びその際の風速を含めるべきである。

## 5. 水文学的ハザードの評価

### 高潮

#### 全般的な推奨事項

5.1. 高潮とは、水体の沿岸区域における水位の異常上昇である。高潮は、激しい気象擾乱に伴って生じる大気圧の低下とともに強風によって誘起される。ハザード評価は、一般的

に、開放性海岸区域、半閉鎖水体及び閉鎖水体の3種類に分類される。開放性海岸区域では、水位上昇は通常、調査対象地点を通過した気象擾乱に対応する単一ピークのハイドログラフによって表すことができる。湖や港湾のような閉鎖性又は半閉鎖性の水体では、気象擾乱は水面の振動を引き起こし、複数ピークのハイドログラフとなる可能性がある。この水体の長期振動はしばしば静振と呼ばれる。

5.2. 高潮のハザードを計算する際は、満潮又は高潮水位などの参照水位が、高潮と同時に発生すると仮定されるべきである。複合事象に関する考慮事項は第6章で議論される。

5.3. 立地地点での高潮の可能性は、気象学的及び水文学的な情報に基づいて評価されるべきである。立地地点に高潮の可能性がある場合、立地地点での高潮の予備的な推定が行われるべきである。所定の（十分に低い）超過確率とともに、立地地点で高潮を発生させる極めて重要な暴風雨の以下の特性を特定するために、地域における実際の激しい暴風雨に関する事例研究が使用されるべきである。

- 最低中心気圧及び付随する周辺気圧
- 最大風速及びその方向
- 吹送距離<sup>20</sup>;
- 暴風雨及びそれに伴う風の継続時間
- 暴風雨の移動方向及び移動速度
- 暴風雨の経路及び特に暴風雨経路が海岸に最接近するか又は横切る地点

## ハザード評価

### 確率論的方法

5.4. 高潮に対するハザード評価のための静水位<sup>21</sup>を推定するために確率論的方法が使用されるべきである。これは十分に長い期間を対象としており、地域内の十分な数の検潮所に対して利用可能な、信頼できる高潮データ（潮位と最終水位との差に関するもの）に依存する。高潮のデータは、高周波数の波浪と天文潮汐の影響を除いた静水位として利用可能であるべきである。通常、特定地域の計器による高潮データが利用可能な場合にこれが該当する。

5.5. この場合、複数の場所の時系列を相関させるべきであり、それによって局地的観測の期間よりも長い期間にわたって有効な統合的時系列を作成するための基礎が提供される。他の代表的な水文観測所の時系列を使用することにより、解析の基礎が広がり、より信頼できるものとなるだろう。

5.6. 実際の高潮水位を基本パラメータとして扱うことにより、記録が十分に長い期間を対象範囲としていれば、暴風雨の激しさ、経路及び継続時間に関するさまざまな因子が暗黙のうちに考慮される。このアプローチには利点があり、最大限適用されるべきである。これは特に温帯低気圧の影響を受ける地域に当てはまる。なぜなら、温帯低気圧は非常に

---

<sup>20</sup> 風により生じる波に関して、吹送距離とは、風が一定方向に水体上を移動できる、遮るもののない最長の距離である。

<sup>21</sup> 「静水」という用語の使用は、水が静止していることを意味するものではない。むしろ、この用語は、風波又は他の危険要因の影響を組み合わせる立地地点での設計基準パラメータを作成する前に、ハザード評価の結果を定義するために使用される（第6章を参照）。

範囲が広く複雑であり、決定論的方法への適切な入力をもたらす形式でモデル化することが困難なためである。

### 決定論的方法

5.7. 高潮に対するハザード評価のための最高静水位を推定するために、決定論的方法を使用してもよい。決定論的方法を使用して最大高潮水位を計算するためには、第3章と第4章で推奨されたように気象学的ハザードの評価による情報、知見及び結果を考慮して1組の最大仮想暴風雨が構築されるべきである。これらの最大仮想暴風雨は、提案された立地地点に最大の高水位影響を生じるような位置に配置されるべきである。決定論的方法の適用は単独のプロセスではなく、水文学者及び気象学者がその専門家判断を適用するべき置換え、最大化及び推定の手順の組合せである。この手順は熱帯低気圧には容易に適用可能であるが、温帯低気圧への適用にはいくつかの問題を生じる場合がある。この手順には、高潮の評価に使用されるべき可能最大暴風雨の選択、及び半閉鎖性水体及び閉鎖性水体と同様に開放性海岸地域に対する高潮の評価を含めるべきである。

5.8. この解析は、洪水の潜在性を最大化する1次元又は2次元の高潮モデルへの入力として使用されるべき適切な暴風雨パラメータ及び他の関連パラメータ（例えば、最大風速、気圧差、底面摩擦及び風応力の係数）を選定することから成る。全てのパラメータは保守的に評価されるべきであり、また、正当化されるべきである。

5.9. 高潮解析は出力として以下を提示するべきである。

- 各暴風雨の初期位置及び指定されたその後の時間に対する水上の風の場合と気圧傾度
- 「深水」<sup>22</sup>から始まり海岸まで続く横断面上の指定された深さでの初期時刻及び指定されたその後の時間における水深の総増加量を含む高潮計算の概要
- 指定された場所に対する高潮全体のハイδροグラフの集計表とプロット

### 開放性海岸地域

5.10. 高潮の水位を計算するために、妥当性が確認された適切なモデルが選択されるべきである。経験的には、一般的に、2次元モデルの方が1次元モデルよりも望ましい。気象解析の出力は、極端な風の場合と気圧傾度である。これは、次に特定の場所に対する最も極端な高潮を決定するために、高潮発生に最適となる進行速度でさまざまな経路沿いに移動させるべきである。

5.11. 高潮のピーク水位を発生する熱帯低気圧又は温帯低気圧が設計にとって極めて重要な条件を代表していない場合がある。他の低気圧又は温帯低気圧が、より低いピーク高潮しか発生しないがより長い継続時間の高水位を引き起こす場合があり、又は、より強い風速の風と高い波を発生する場合がある。これらの熱帯低気圧又は温帯低気圧に伴う波の活動は、おそらくより高い設計基準水位を生じさせる可能性がある。また、湾内に位置する発電所立地地点については、開放性海岸では高さは低いより長い継続時間のピーク高潮を発生させる熱帯低気圧又は温帯低気圧が、湾内では高いピーク高潮とより激しい波の状態を発生させ、その結果、設計水位が高くなる可能性がある。したがって、開放性海岸のピーク高潮を発生させる熱帯低気圧又は温帯低気圧以外の、しかし上記で説明したような

---

<sup>22</sup> 「深水」とは  $L/2$  を超える深さの水である。ここで  $L$  は検討対象となる表面の波の波長である。

影響を生じる可能性があるものが考慮されるべきである。

### 半閉鎖性水体

5.12. 半閉鎖性水体における高潮の解析では、通常は開放性海岸の高潮が最初に評価され、次に数値モデルを使用して入口を經由して湾又は河川を遡り発電所立地地点まで送られる。開放性海岸の最大高潮を発生するパラメータの組合せが、必ずしも湾又は河口に位置する立地地点で最大の高潮を発生するわけではない。しかし、立地地点で高潮水位を発生させることになる極めて重要なパラメータセット、特に暴風雨が湾又は河川を遡る時の暴風雨の方向と並進速度が存在する。半閉鎖性の内湾での水の移動を評価するためには、一般的には、湾内での水深の変化と波の反射を捕捉するために、2次元の非定常流体解析が必要である。数値モデルでの使用のために選択されるパラメータは保守的に選択されるか、又は評価されるべきである。

5.13. 低い汀段及び低湿地がある湾に位置する立地地点の場合には、湛水とともに汀段の越水が起こりうる。最大ピークよりも低い継続時間の長い開放性海岸の高潮が、そのような立地地点で最大の高潮水位を発生する場合がある。洪水の状態を悪化させる可能性がある汀段及び湾入口の侵食もまた、半閉鎖性水体に対して考慮に入れられるべきである。

5.14. 半閉鎖性水体に対する高潮解析の結果は、付随する開放性海岸高潮の計算された時刻歴、入口を通る水の流量、湾又は河川までの高潮の縦断面、横風による波浪効果<sup>23</sup>の寄与並びに該当する場合は流出及び河川の流れの寄与を含むべきである。

### 閉鎖性水体

5.15. 閉鎖性水体の場合、高潮は一般的に水面の振動（すなわち、静振）を伴う。閉鎖性水体における高潮ハザードと静振の両者を計算するために、5.70-5.77項（静振）で説明される方法が使用されるべきである。

### ハザード評価から導き出すパラメータの値

5.16. 高潮解析の結果は、最大静水位<sup>24</sup>（決定論的方法）又は対応する年超過頻度とともに静水位の分布（確率論的方法）の推定を含むべきである。

### 風浪

#### 現象の全般的説明

5.17. 水体<sup>25</sup>を横切る風の摩擦は風浪を生じ、典型的な波の周期は1秒から10秒の間である。底面摩擦のため、水深が波の伝播に大きく影響する。波が岸に近づくと水深に

---

<sup>23</sup> 「波浪効果」は 砕波による浜での水位の一時的上昇であり、これは高潮の高さに加えられるべきである。

<sup>24</sup> 「静水」という用語の使用は、水が静止していることを意味するものではない。むしろ、この用語は、風波や他のハザードの影響を組み合わせる立地地点での設計基準パラメータを作成する前に、ハザード評価の結果を定義するために使用される（第6章を参照）。

<sup>25</sup> 「水体」とは、湖、川、河口、海又は運河である。

より3つの一連の領域に分類される。これら3つの波の分類は、深海波<sup>26</sup>、浅海波<sup>27</sup>及び極浅海波<sup>28</sup>である。

## 全般的な推奨事項

5.18. 風浪は、そのプロセスが非線形であり、また、部分的な影響を線形的に重ね合わせることが適切ではないため、潮汐、高潮、静振及び津波のハザードと同時に取り扱われるべきである。

## ハザード評価

5.19. 発電所立地地点付近での風浪の影響を決定するために、最初に、発生している風の間又は観測される沖波の確率論的調査に基づいて、沖波のスペクトルが決定されるべきである。次に、沖波を変換した結果から得られる沿岸波のスペクトルが計算されるべきである。これらのスペクトルは、次に、それによって発生する波力とともに立地地点における安全関連の構築物に対して計算される。波のスペクトルは、一般に有義波高<sup>29</sup>及び1%波高により特性付けられた高さとともに、その高さで周期に関して記述される。波の高さと周期の最大値は、風の速さ、継続時間及び吹送距離によって異なることになる。

5.20. 風浪ハザードを計算する際には、満潮位又は高潮水位といった基準水位が風浪事象と同時に発生すると仮定されるべきである。複合事象のパラメータに関する考慮事項は添付資料 I に示される。

5.21. 立地地点での風浪の影響には、波に伴う力のほか、発生する可能性のあるあらゆる局地的洪水を含めるべきである。さらに、風によるしぶきを含め、汀段及び/又は堤防の越水が設計において精査されるべきである。

## 風の間

5.22. 風浪を評価するために、最初に、風速、風向及び継続時間の面から波を発生させる風の間が特性付けられるべきである。

5.23. 風速は、第4章で説明された確率論的方法を使用して評価されるべきである。次に、立地地点に対する保守的な値を決定するため、地域の気象と暴風雨の特性を調査することにより吹送距離及び適切な風向が評価されるべきである。波を高潮と併せて考慮すべき場合には、波と高潮の発生に対する一貫した暴風雨パラメータを使用するために、高潮を発生する暴風雨と類似する種類の暴風雨を風の間を決定するものと見なすことができる。

5.24. 極めて重要な風の間を設定するために決定論的アプローチを使用する場合、極めて重要な吹送方向に沿った風のベクトルが、発電所立地地点付近での暴風雨の移動中のさまざまな時間について計算されるべきである。

---

<sup>26</sup> 「深海」とは、 $L/2$  を超える深さの海である。ここで、 $L$  は検討対象となる表面の波の波長である。

<sup>27</sup> 「浅海」とは、 $L/2$  未満、 $L/25$  以上の深さの海である。ここで、 $L$  は検討対象となる表面の波の波長である。

<sup>28</sup> 「極浅海」とは、 $L/25$  未満の深さの海である。ここで、 $L$  は検討対象となる表面の波の波長である。

<sup>29</sup> 有義波高  $H_s$  は、記録された波の波高の上位 3 分の 1 を平均した高さである。1%波高  $H_1$  は、記録された波の波高の上位 1% を平均した高さである。いくつかの加盟国では、 $H_1 = 1.67 H_s$  という近似式が使用される。

5.25. 一部の海岸地域では、風浪ハザードが洪水に関する支配的な考慮事項である。この場合、立地地点における最大の影響を求めるために、暴風雨の適切な入力特性の選択に注意が払われるべきである。

### 沖波の発生

5.26. 沖波の特性は、選択された風の場合から決定論的に計算されることがある。そのような評価のために簡略化した方法を適用する際には、風は一般的には一方向であると仮定される。これらの方法は半経験的な関係に基づいており、吹送距離、風速及び風の継続時間を入力として使用する。これらの仮定が有効でない場合には、2次元波浪スペクトルモデルが適用されるべきである。地域の極端な波に関する利用可能な既往データは（衛星データを含む観測された（予報と対立するものとしての）「再予報された」及び/又は測定されたデータ）、沖波の特性の解析結果を検証するために見直されるべきである。

5.27. 信頼できる沖波のデータが利用可能で、十分に長い期間を対象としている場合、沖波の特性は確率的に計算されるべきである。発電所立地地点付近の地域に対する波浪スペクトルに関する観測からの利用可能なデータ（波浪ブイのデータ、衛星観測、等）が解析に組み入れられるべきである。その場合、先験的に選択された年間発生頻度に対する有義波高を計算するために外挿が行われるべきである。波高と波の周期は相関するため、選択された年間発生頻度に対する波高に基づいて波の周期を決定するために経験的な関係式が使用されることがある。

### 沿岸波及び構造物との相互作用

5.28. 沖波は、発電所立地地点の沿岸区域に伝わるにつれて、水深の変化、島及び構造物及び他の要因からの干渉並びに風によるエネルギーの追加入力のために、散逸及び変形の影響を受けることになる。これらの沖波の沿岸へ向けての波の変形と伝播が評価されるべきである。水深と汀線が規則的な状況では、半経験的なモデルの使用が正当化される場合がある。しかし、形状がより複雑な場合には、2次元数値モデル又は物理モデルが用いられるべきである。

5.29. 特に、この評価に関係しており、考慮されるべき波浪現象は、摩擦、浅水変形、屈折、回折、反射、砕波及び再生を含む。波の計算ではまた、局地的な水流構造、局地風及び波の作用による水深の変化も対象とすべきである。

5.30. 発電所の設計にとって極めて重要な沿岸波は、高潮の静水ハイドログラフを考慮し、入射深海波、浅海波及び極浅海波並びに限定的な砕波のさまざまな波高の履歴を比較することによって特定されるべきである。

5.31. 沿岸波の解析結果を検証するため、地域に対して観測された極端な波に関する利用可能な既往データが評価されるべきである。

5.32. 波の作用にさらされる可能性のある安全上重要な構築物、系統又は機器に対しては、設計波の特性が構築物の土台に対して評価されるべきである。2次元モデルが解析に使用されるべきである。この評価は以下の内容で構成すべきである。

- (a) 入射波の適切なスペクトルの選択、波の上限（波高、周期）、波が構築物と相互作用する継続時間及び風向を含む数値モデルパラメータの感度調査

- (b) 波浪効果<sup>30</sup>及びうねりなどの影響による高潮に対する計算上の静水位上昇の評価。特別な波浪効果では波高がさらに増加することになる。

5.33. ハザード評価プロセスにおいて考慮されるべき風浪の影響には、構造物沿いの波の遡上、築堤の越水及び波しぶきを含む。これらの影響は半経験的方法を使用して推定することができる。しかし、方法の適用の可否は、物理モデルの使用を含め、立地地点の特殊性に対して検証されるべきである。

5.34. 安全上重要な構築物への静水荷重と動水荷重が評価されるべきである。所与の立地条件について、最大荷重条件は最大洪水時以外に発生する可能性があるため、発生が予想されるあらゆる範囲の水位が評価されるべきである。波荷重の継続時間も設計で考慮するために計算されるべきである。

### ハザード評価から導き出すパラメータの値

5.35. 風浪解析の結果には、静水位に重ねられるべき風浪作用による水位の上昇量の推定を含むべきである。推定に関連する浜及び/又は構造物沿いの波の遡上高は、ハザード評価の一環として計算されるべきである。遡上高は、波の特性（例えば、風速、風の継続時間、水深及び吹送距離）、沖合の水深並びに海岸及び/又は構造物の形状に依存する。発電所の構築物と風浪の相互作用の動的効果に付随する関連パラメータ（例えば、波の運動学）も考慮されるべきである。

## 津波

### 現象の全般的説明

5.36. 津波<sup>31</sup>とは、海底（又は、総称的な用語では水底）の変形又は攪乱によって生じる、長い波長（例えば、数 km から数 100 km）と長い周期（例えば、数分から数十分、例外的には数時間）を持った一連の伝搬する波である。地震、火山現象、水中及び沿岸の地すべり、岩石の落下又は崖の崩落が津波を発生させることがある。大型の隕石<sup>32</sup>もまた、海洋に衝突し、津波を発生させる場合がある。世界の全ての海洋地域及び海盆、さらにはフィヨルド及び大型の湖沼でさえ、津波の影響を受けることがある。

5.37. 津波の波は、発生区域から外側に向けて全方向に伝播し、エネルギーが伝播する主要な方向は発生源の寸法と方位によって決定される。津波が深水域を伝播する間は、津波は水深に応じた速さで通常の重力波として進行する。例えば、水深の深い海洋では、速さは 800 km/h を超えることがあり、波高は一般的には数十 cm よりも小さいが、地震起源の場合には、波長はしばしば 100 km を超える。伝播の間、海底地形が津波の速さと高さに影響する。屈折、海山又はその連なり（群島）からの反射及び回折は、深水域での津波の伝播に影響する重要な因子である。

5.38. 津波が沿岸域に到達する際、汀線とその近くに危険な影響を及ぼす。水深が浅くな

---

<sup>30</sup> 「波浪効果」は砕波による海岸での水位の一時的上昇であり、これは高潮の高さに付加することになっている。

<sup>31</sup> 「津波」は、港（「津」）の中の波（「波」）を意味する日本の言葉である。

<sup>32</sup> 隕石により誘発される津波については、今日までに行われている評価では、これらの事象の発生頻度が通常採用されるスクリーニングのレベルを超えることは実証されていない。

るのに伴って波の速さが低下し、波長が短くなることにより、津波は浅水域に接近するにつれて急峻となり波高が高くなる。沿岸域においては、半島又は海底谷のような局所的な地形及び水深により、波高の追加的な増加を引き起こす場合がある。津波が内陸に移動するにつれて、湾、河口、港湾又は潟などのじょうご状部分の存在によっても波高が増幅される可能性がある。複数の大きな波が観測される可能性があるが、最初の波が最大ではない場合がある。第1波の前及び連続した冠水の間、海面の後退が観察される可能性がある。津波の波長は非常に長く、波の先端の背後には莫大な量の水が追従するため、津波は内陸部の浸水を引き起こす可能性がある。

5.39. 津波による他の危険な影響は、港及び湾における強い流れ、河川、河口及び潟における段波並びに波力である可能性がある。海底での大きな剪断力に起因して、堆積と侵食を含む堆積現象も発生する場合がある。

5.40. 地震は最も頻繁な津波の発生原因である。地震で誘発される津波は、震源が浅く（50 km 未満）、マグニチュードが大きく（ $M > 6.5$ ）、縦ずれ型の海底地震及び沿岸地震に伴う海底変形によって発生する。横ずれ型断層の動きにより生じる海底の鉛直方向の変形は小さく、その結果、誘発される津波は通常は高さがより小さい。

5.41. 大容量の（例えば、 $10^6 \text{ m}^3$  から  $10^9 \text{ m}^3$  を超える）地すべり、火砕流若しくは岩屑なだれが急速に海若しくは大きな湖に入るような火山現象、又は水中火山の噴火によって津波が発生する場合がある。火山噴火又は地震が引き金となり生じる火山体の崩壊は、斜面の大規模な滑動を引き起こし、近接する水体に津波を発生させることがある。急斜面の火山は不安定な構造であるため、水面近く又は水中に位置するそのようなあらゆる火山がこれらの現象の潜在的な発生源である。加えて、深淺測量は、海洋環境での楯状火山が海底岩屑なだれの発生場所であることを明らかにしている。そのような現象は海盆全域での津波を潜在的に発生させる可能性がある。それに加え、一般的には、津波を発生させるのは極端な場合で、より大規模な爆発的な噴火であるが、火山島での穏やかな噴火でさえ津波を発生させている。火山現象により誘発される津波の最も頻繁な原因は火砕流と地すべりである。火山現象により誘発される最も危険な津波の発生機構はカルデラの崩壊である。カルデラが崩壊すると、数百 m までの元の火山が突然崩壊し、急激な水の沈降とそれにより生じた空洞への周囲の水の突入を引き起こす。エーゲ海のサントリーニ（ギリシャ、紀元前 1650 年）及びインドネシアのクラカタウ（西暦 1883 年）の噴火は、火山から遠く離れた海岸と港に影響を及ぼす海盆全域での津波を引き起こす崩壊を発生した。[12]

5.42. 水中及び海岸（陸上又は陸上-水中）の地すべり、岩石の落下並びに崖の崩落も津波を発生させる場合があり、そのいくつかは地震で誘発される津波よりも局所的には一層壊滅的である。これらの地すべりは地震又は火山活動が引き金となる場合もあり、そうでない場合もある。

5.43. 津波は「近地」津波又は「遠地」津波に分類されることもある。発生源に近い地域だけに影響する場合、その津波は近地津波と呼ばれる。近地津波は、地震、火山活動及び地すべりによって発生することがある。地震により誘発される近地津波は、破壊的な津波の最も頻繁な種類を代表している。頻度は低いが広範囲に影響するのは、大洋又は海盆を横切って移動した後、その発生源から離れた場所に到達する大洋規模の津波又は遠地津波である。地震により誘発された破壊的な遠地津波の例には、太平洋周辺の多くの加盟国に影響を及ぼした 1960 年のチリ津波と、より破壊的な 2004 年のインド洋津波が含まれる。成長過程の火山の側面に伴うような、5.41 項で述べた大規模な地すべり又は火山体崩壊もまた遠地津波を発生させることがある。



## 全般的な推奨事項

### 初期評価

5.44. 初期評価として、簡略化されたスクリーニングの判断基準が推奨される（図 1 を参照）。3.35 項で議論されたような公的に利用可能な情報を使用し、立地地点地域に対して過去の津波発生の証拠が評価されるべきである。この目的のために、収集された情報が整理されるべきであり、また、発電所立地地点に関係する個々の津波のリストが作成されるべきである。過去の津波発生の証拠がない区域に立地地点が位置しており、かつ次のような場所に位置している場合は、その発電所立地地点に対する津波ハザードを解析するために、それ以上の特定の調査及び研究を実施する必要はない。

- 海若しくは大洋の汀線から 10 km より離れた場所又は該当する場合は湖若しくはフィヨルドの汀線から 1 km より離れた場所、あるいは
- 平均水位から標高が 50 m より高い場所

5.45. 全ての場合において、低水位が数時間にわたり取水系に影響を及ぼす可能性があるため、津波の発生時にも必要な量の冷却水が確保されるべきである。

5.46. 5.44 項に記された以外の全ての状況において、以下の項で概説されるように、津波に対する詳細なハザード評価が実施されるべきである。

### 詳細評価

5.47. 発電所立地地点での津波ハザードの詳細評価を行う際の最初のステップは、立地地点に関連する個々の津波の目録及び／又はデータベースを編集することとすべきである。これは、3.33～3.35 項で記された調査に従い、過去又は最近の津波事象が立地地点地域で発生したかどうかを立証するために、また、発生している場合はそれらを特性付けるために、実施されるべきである（図 1 を参照）。

5.48. 近地津波及び遠地津波の両方の可能性が調査されるべきである。立地地点地域（約 1000 km）での水中及び海岸近くの地震又は火山活動の発生は、当該立地地点での近地津波の発生可能性の指標になる。また、大規模な津波が遠隔地で発生しうることを考慮すると、遠地津波の潜在的な発生の評価は、発電所立地地点が位置する特定の海又は海盆内及びその周囲に存在する全ての地震発生源に対して実施されるべきである。

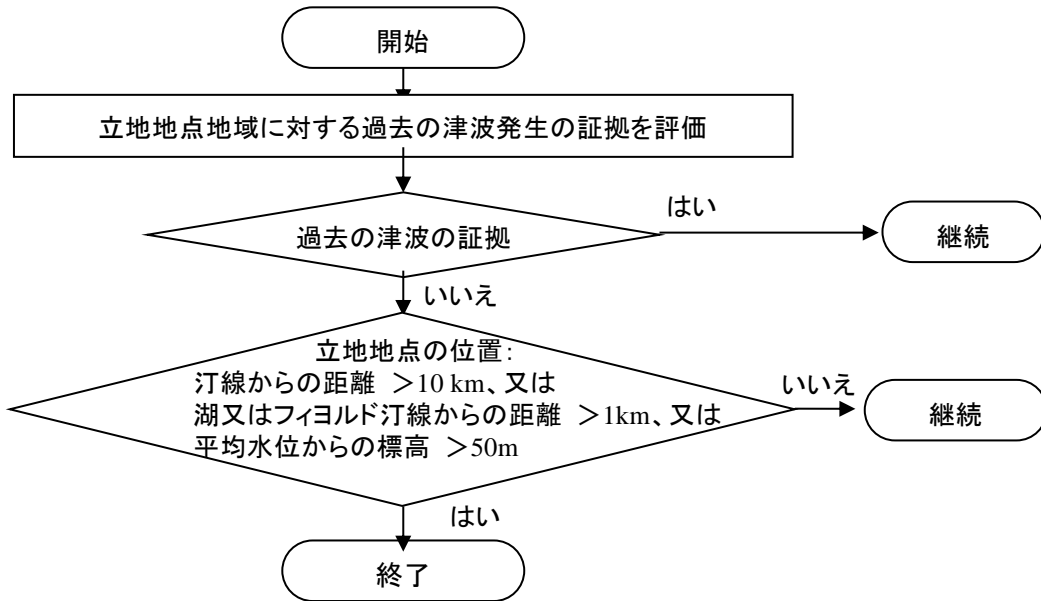
5.49. 地質学的、地球物理学的、地震学的及び津波のデータベースにおいて実施され編集された研究及び調査により、立地地点での津波の発生可能性がないと実証された場合、それ以上の津波ハザードの評価は不要である。

5.50. しかし、立地地点での津波の発生可能性が示唆され実証された場合、第二のステップとして、設計基準津波を導き出すために詳細な数値シミュレーションを含む立地地点固有の津波ハザード解析が実施されるべきである。

5.51. 全ての種類の津波波源に対して津波ハザードを評価するために、数値シミュレーションは、適切な初期条件及び境界条件並びに深淺測量及び地形のデータを用いて、津波の発生、伝播及び海岸でのプロセスを対象とすべきである。

5.52. 地震で誘発される津波の初期条件については、地震による海底変形を与えるために、震源の弾性モデルが使用されるべきである。これは、初期の水の波の場として使用される。地すべり及び火山現象で誘発される津波については、はるかに長い継続時間を有する地震起源の津波とは発生機構が基本的に異なる。このため、発生源と水の波との間の相互作用の動力学が考慮されるべきである。

初期評価段階: 公的に利用可能な情報の検討(5.44 項)



詳細評価段階: 設計基準津波の検討

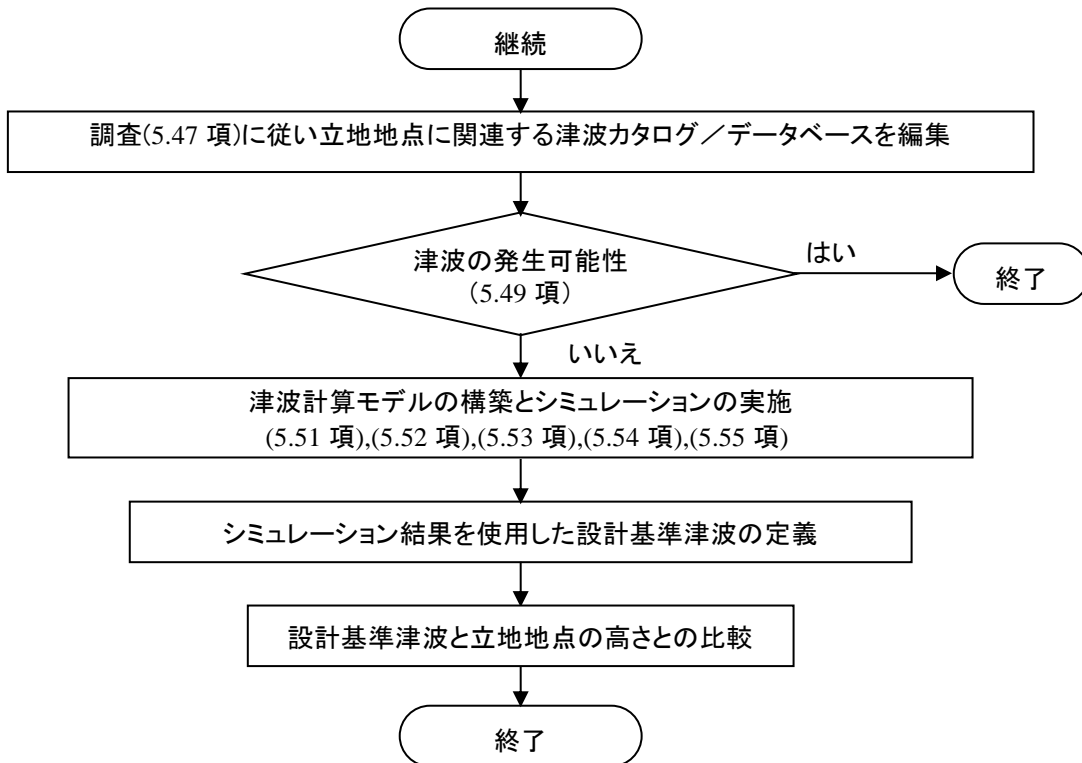


図1 津波による洪水の初期及び詳細評価のフローチャート

5.53. 遡上及び戻り流れを含む伝播には、海底から海面まで積分する長波理論又は浅水理論を適用することができる。深水（100 m を超える）では、非線形性及び底面摩擦の項を無視することができる。小規模な発生源又は長距離の伝播については、波数分散効果の考慮が必要となる場合がある。

5.54. 第3章（3.36 項及び 3.37 項を参照）に記されたように取得された、海岸近くの水深データ及び地形データの分解能と精度は計算結果に重要な影響を及ぼす。空間グリッドサイズは、立地地点近くの海岸と水中の形態を適切に表現するように十分小さくすべきである。数値計算の安定性を提供するために、空間グリッドサイズ、時間ステップ及び異なるサイズのメッシュ間の接続境界が規定されるべきである。

5.55. 数値シミュレーションでは満潮位と干潮位が考慮されるべきである。

## ハザード評価

### 地震で誘発される津波に対するハザード評価の方法

5.56. 地震で誘発される津波に対して、決定論的ハザード解析又は確率論的ハザード解析のいずれか、又は、できれば両方の方法を使用してハザードが評価されるべきである。アプローチの選択は因子の数に依存することになる。いずれの方法を使用するとしても、ハザード評価の結果に含まれる不確かさの定量的な推定が決定されるべきである。

5.57. 全体の不確かさには、偶発的な不確かさと認識的な不確かさの両方を含むことになり、後者はその分野の専門家による津波波源と遡上高の解釈における相違に起因して生じる。そのような解釈は、津波波源、伝播モデリング及び海岸でのプロセスに関する現在の考え方を適切に代表できるものを提供することにより、津波ハザード解析において一貫した方法で取り扱われるべきである。これらの解釈に偏りが生じないように特に注意が払われるべきである。専門家の意見は、新しいデータを取得する代わりとして使用されるべきではない。津波ハザードの評価のためのプロジェクトチームは、いずれか1人の専門家の仮説又はモデルだけを推進するべきではない。編集されたデータを使用して全ての実行可能な仮説とモデルを評価するべきであり、次に知識と不確かさの両方を取り入れた統合的な評価を開発すべきである。

5.58. 立地地点固有のデータの収集により不確かさは減少する傾向がある。しかし、津波ハザードの評価において間接的に使用されるデータの一部は、立地地点に固有ではない場合がある。例えば、遠地が発生源の発生機構を特性付けるために使用される地震発生データなどである。そのため、立地地点固有の調査に関して、減らすことができない不確かさの一部が残る場合がある。

### 決定論的方法

5.59. 数値シミュレーションは、次のステップに基づいた決定論的なアプローチ<sup>33</sup>を使用して実施される場合がある。

(1) 過去に発生した津波の観測された記録に基づき数値シミュレーションモデルを構

---

<sup>33</sup> 添付書類 II には、いくつかの加盟国で現在用いられているやり方が示されている。

築して妥当性を確認する。

- (a) 立地地点地域に影響を及ぼした近地及び遠地における過去に発生した最大の津波を選択する。
  - (b) 立地地点近くの海岸地域における対応する遡上高を特定して妥当性を確認する。
  - (c) 対応する震源断層のパラメータを特定する。
  - (d) 選択された過去に発生した全ての津波に対する発生、伝播及び海岸でのプロセスを含む数値モデルを構築して遂行する。
  - (e) シミュレーション結果を過去に発生した遡上高と比較する。
  - (f) 必要に応じてモデルを調整する。
- (2) 津波ハザードの評価に対する地震発生源及び付随する断層パラメータを推定するため数値モデルを適用する。
- (a) 近地及び遠地における津波波源を選択し、近地に対しては、地震ハザード評価に従い、関連断層パラメータとそれらの変動範囲を特定する。
  - (b) 津波高さの範囲を精査するために可能性のある全ての地震発生源に対する数値計算を実施する。
  - (c) 最大及び最小の水位を選択する。

5.60. 以下に提示する不確かさが考慮されるべきである。関連する場合、偶発的及び認識的な不確かさの両方が推定されるべきである。

- (a) 津波波源に関する不確かさ
- (b) 数値計算における不確かさ
- (c) 海底及び海岸の地形における不確かさ

これらの不確かさのそれぞれを定量的に推定することは困難である。さらに、精査された全ての潜在的な津波の中から1つの津波波源を選択することも困難である。したがって、不確かさを考慮するために、合理的なパラメータの範囲内で様々な条件のもとに多数回の数値計算が実施されるべきである（パラメトリックスタディ）。

5.61. 各地域における地震の特性を考慮することにより、断層モデルの支配的因子に関するパラメトリックスタディが実施されるべきである。パラメトリックスタディのための因子は、断層の位置、長さ、幅、上端の深さ、走向、傾斜角、滑り角又はセグメントの組合せのうちから適切に選択されるべきである。パラメトリックスタディの範囲は合理的な限度内で設定されるべきである。統計に基づいた断層モデルの因子が利用できる場合は、パラメトリック値の範囲は標準偏差から採用されるべきである。

5.62. 最後のステップとして、最大及び最小の遡上高が、精査された過去に発生した津波及び潜在的な津波に対応する遡上高と比較して、それらを包含していることが検証されるべきである。

#### 確率論的アプローチ

5.63. 確率論的津波ハザード評価は確率論的地震ハザード評価と類似しているが、現在のところ、津波ハザードを評価するために加盟国によって適用される慣行とはなっていない。確率論的アプローチを用いた津波ハザードの評価方法が提案されているものの、標準的な評価手順はいまだ策定されていない。

5.64. 確率論的津波ハザード評価の結果は、典型的には、ロジックツリーのアプローチを通して、遡上高の年超過頻度の平均値又は中央値として表される。津波ハザードの評価に

対する一般的なアプローチは、データによって導かれる信頼できる結果を得るために、評価プロセスの様々な段階で不確かさを減らすことに向けられるべきである。経験によれば、これを達成する最も効果的な方法は、十分な量の信頼できる適切なデータを収集することである。一般的には、詳細で信頼性が高く適切なデータベースを編集するために必要な時間及び努力と、プロセスの各ステップで解析者が考慮すべき不確かさの程度との間にはトレードオフが存在する<sup>34</sup>。

#### 地すべりで誘発される津波に対するハザード評価の方法

5.65. 地すべりで誘発される津波に対する地すべりの発生源は、海底地形図作成又は過去に発生した地すべりの地質年代測定から決定されるように、最大体積パラメータを用いて特性付けられるべきである。斜面安定性解析は、候補となる地すべりが津波を発生させる潜在的な能力を評価するために実施されるべきである。

5.66. ほとんどの地域では確率論的な解析のためのデータが不十分なため<sup>35</sup>、地すべりで誘発される津波に対するハザード評価には、通常は決定論的方法が使用される。解析の発生源パラメータは、地すべりの寸法及び形状並びに落下する物質の速度及び流動特性である。数値モデルは、地すべりとその結果生じる水の動きを結びつけるべきである。

5.67. 地震による津波と比較して発生源が小規模であるため、地すべりで誘発される津波の影響は発生源の周囲に限られ、通常は発生源から数十キロメートルより離れた場所では観測されない。

#### 火山現象により誘発される津波に対するハザード評価の方法

5.68. 火山現象により誘発される津波のモデリングは、現在のところ、付随する津波ハザードを評価するために加盟国によって適用される慣行とはなっていない。火山事象により誘発される津波のモデリング方法が提案されているものの、標準的な評価手順はいまだ策定されていない。

#### ハザード評価から導き出すパラメータの値

5.69. 津波による洪水に対するハザード評価の結果は、汀線での最大水位、遡上高、水平方向の浸水、発電所立地地点での最大水位、汀線での最小水位及び取水口を下回る水位低下の継続時間に対する包絡的な値とするべきである。これらのパラメータのいくつかを図2に示す。

---

<sup>34</sup> いくつかの加盟国では、モデル化における不確かさとデータの不確かさの重要性を評価するために公式な意見導出が行われている。

<sup>35</sup> いくつかの加盟国では、地すべりで誘発されるハザード評価のために確率論的方法が用いられている。

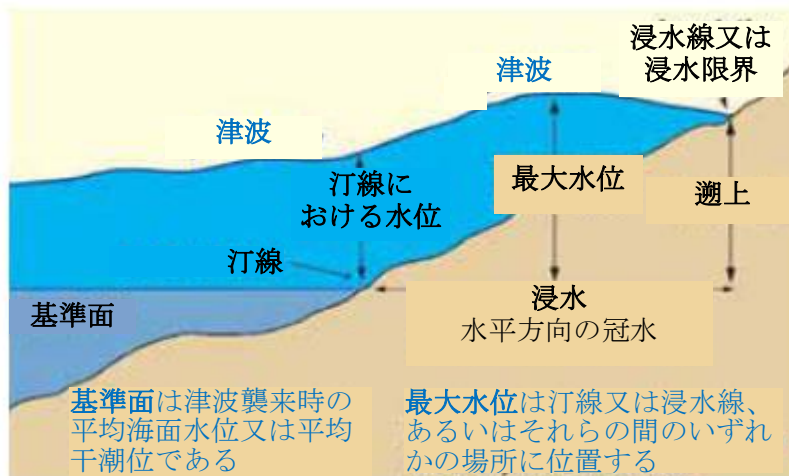


図2 津波ハザード評価から導き出されるパラメータ

## 静振

### 全般的な推奨事項

5.70. 水体の自由振動（静振）は、高潮、風速の変動、大気圧場の変動、波の相互作用、地震による津波、水中への地すべり、水中での火山噴火及びその他の攪乱（流域全体の極端な「スロッシング（揺動）」を発生させる可能性がある局所的な地震変位など）により引き起こされることがある。水体の強制振動は、入江又は運河の入口で連続的に水の柱へ励振が加えられることから、又は水面での周期的な風によって発生する場合がある。簡単な例としては、長周期の波の列が海岸の入江に到達し、周期の類似した振動を誘発する場合である。入射する波の周波数が入江に対する局所的な振動モードの1つの周波数と一致すれば、汀線に沿った水の高さの共振増幅が発生する場合があり、また、それにより大きな水流が生じる場合もある。いくつかの水体においては、静振の動きは1 m以上に達することがある。

### ハザード評価

5.71. 静振による洪水に対しては、決定論的ハザード解析若しくは確率論的ハザード解析のいずれか、又はできれば両方の方法を使用してハザードが評価されるべきである。

5.72. 振動の形態は水体の水面形状と水深に依存することになり、振動の振幅は起振力の大きさと摩擦に依存することになる。加振作用が正しく規定されることを前提に、振動の形態と振幅の計算を可能とすべきである。非常に単純な形状と水深の場合を除き、流域の数値モデリングを使用して計算が実施されるべきである。

5.73. 閉鎖性水体又は半閉鎖性水体の沿岸に立地地点が位置している場合、静振の可能性が考慮されるべきである。これは、適切な時間スケール、典型的には分単位で収集されたデータから、観測された水位を解析することにより行うことができる。

5.74. 静振及びそれに伴う立地地点の洪水が発生する可能性は、他の洪水ハザードと同時に評価されるべきである。特に、高潮、広範囲に及ぶ風の事象及び津波は、立地地点近くの水体で静振を引き起こす可能性について精査されるべきである。しかし、静振の評価は、

本安全指針の他の章で議論している事象の種類だけに限定されるべきではない。実際、強さの小さな事象でもより脅威の大きい静振を誘発させる場合がある。したがって、静振の評価は、独立に及び立地地点の洪水に対する他のハザード評価との組合せの両方で行われるべきである。

5.75. 静振の振動及び静振で誘発される洪水をシミュレーションするために数値モデルが使用されることがある。モデルの結果は、任意形状の湾内の任意の点における時間の関数として水面上昇を示す。モデルには、通常、全体の形状（水深及び海岸地形）及び力を加える波の体系の仕様が入力として必要である。また、モデルには開放性境界又は発生源の位置における起振力（津波、高潮の波、風浪等）の時間依存性も入力として必要である。発電所立地地点の位置に対する静振の振幅の時刻歴が次に計算されるべきである。数値モデルは観測されたデータを使用して妥当性の確認がなされるべきである。

5.76. 流域周辺の水位振動の時系列測定が利用可能であれば、静振ハザードの評価のために統計的な方法が実施されるべきである。データの統計処理は、流域内に発生する可能性のある全ての加振作用がデータセットで適切に表現されている場合にのみ行うことができる。

## ハザード評価から導き出すパラメータの値

5.77. 静振ハザードの評価から得られる最大及び最小の遡上高が評価されるべきである。

### 極端な降水事象

## 全般的な推奨事項

5.78. 原子炉等施設の立地評価に関するIAEA安全要件刊行物[1]に従い、降水に起因する洪水による立地地点への潜在的なハザードを気象学的及び水文学的なモデルから導き出す必要がある。立地地点及び集水域に降る降水量の可能性を計算する気象モデルは第4章で議論されている。本章では発電所立地地点及び集水域での降水事象による洪水の潜在的な影響について議論する。

## ハザード評価

### 局地的な激しい降水及びそれに伴う立地地点の排水

5.79. 第4章で議論された方法を用いて計算された立地地点固有の局地的な激しい降水の強度が、立地地点の排水計算を開発するための基礎として使用されるべきである。立地地点の排水系は、必要であれば雪や雹を伴う極端な降雨に対応するように設計されるべきである。局地的な激しい降水の間に、浸透能が不十分なため立地地点に池が形成される場合があり、これは立地地点近傍の地下水位の変動も含めて排水解析で考慮されるべきである。

5.80. 単位図法<sup>36</sup>や他の流出-流量法などの流出モデルが、立地地点の排水の流量と体積を計算するために、また、排水管、排水溝及び排水口の処理能力の大きさを決めるために使

---

<sup>36</sup> 単位図は、単位時間に流域全体に均質に配分された単位降雨量から生じる流出のハイドログラフである。



用されるべきである。解析において考慮されるべき追加因子には、一部又は全ての管暗渠及び暗渠の閉塞の可能性を含む。適切な洪水防護を提供するために能動的な排水系が必要な場合、排水系の設計と運用に組み入れられるべき適切な予防措置及び緩和措置の実装によって深層防護が保証されるべきである。局地的な激しい降水現象は集水域全体での洪水と同時に起きる場合があるため、立地地点の排水放出口の背水効果が考慮されるべきである。

5.81. さらに、安全上重要な建屋及び構築物の屋根への局地的降水の影響が調査されるべきである。屋根排水は通常、設計基準降水の強度よりもかなり低い強度の降雨を排出するように設計される。屋根排水は、雪、氷、木の葉又はごみによって堰き止められる可能性があるため、手すり壁のある建屋は、屋根に対する設計荷重を超えるような深さまで水（又は、水、雪及び氷の混じったもの）が溜まる可能性がある。これに対処するためにいくつかの方法が利用でき、その幾つかとしては、建屋の一つ又はいくつかの側面で手すり壁をなくすこと、余分な水が溢れるように手すり壁の高さを抑えること、また、過剰な量の雪と氷の蓄積を防ぐために屋根を暖めることがある。

### 集水域の流量の計算

5.82. 立地地点付近でのピーク河川流量の計算は、確率論的解析又は決定論的解析のいずれかを使用して実施することができる。

### 確率論的方法

5.83. 発電所立地地点近くのピーク河川流量の推定に確率論的方法が適する場合がある。この方法には、立地地点近くに位置し、また当該河川に設置された流量計から観測された流量データの長期の時系列（典型的には50年以上）が必要である。データセットは、ピーク流量の近似値に換算できる洪水痕跡などの過去に発生した洪水のデータで補強されるべきである。過去に発生した水位を河川流量に換算する場合、氾濫原の形態に注意が払われるべきである。流量データのデータセットは、同一河川沿いの上流又は下流の流量計から観測されたデータを変換することにより補強することもできる。最後に、均質なデータセットが構築されるべきであるため、ダム建設又は既存ダムの貯水容量運用手順の変更など、データ観測期間中の集水域における人為的变化が流量データの処理において適切に考慮されるべきである。将来のダム建設又は貯水容量運用手順の計画される変更を含む将来の変化も解析に組み入れられるべきである。

5.84. データセットが策定された時点で、大規模な洪水に対する年超過頻度（例えば、 $10^{-3}$ /年以下の頻度）が確率論的モデルを用いた外挿を通して計算されるべきである。選択される流量の値は、サンプリングの不確かさを見込むために、通常は選択される再現期間の平均値ではなく信頼水準の上限値である。一般的に、不確かさを考慮するために安全率が付加される。安全率は静水位ではなく河川流量に付加されるべきである。

### 決定論的方法

5.85. 立地地点付近のピーク河川流量を計算するために決定論的方法が使用される場合がある。このアプローチでは、洪水ハザードは第4章に従って推定された設計基準降水から導かれる。流出を発生させる条件は、流域の気象学的、水文学的及び地形学的な特性の解析に基づいて評価される。設計基準降水から洪水ハザードを計算するために単位図法が使用される場合がある。設計基準降水及び流出を発生させている条件は、暴風雨の転位、最

大化及び水文学と気象学の専門家がともにその判断を適用している係数の推定を利用することにより、単一の暴風雨事象ではなく一連の暴風雨事象に基づいて推定されるべきである。この作業においては、不確かさを許容できるレベルまで低減するために、経験のある専門家の寄与が考慮されるべきである。

5.86. 流域での暴風雨の位置は、最大流出（体積又はピーク水位のいずれか重要な方）が発生するように選択されるべきである。

5.87. 融雪が洪水ハザードに大きく寄与することがある流域では、雨に融雪が加わる複合事象の最大化に特別な考慮が払われるべきである。そのような流域における洪水への融雪の最大寄与を計算するために、季節的な雪の蓄積が最大化されるべきであり、また、極めて重要な融雪シーケンスが選択されるべきである。次に、その時期に該当する設計基準の降水事象が最大化された融雪事象に追加されるべきであり、降水（雨の場合）による追加の融雪が含まれるべきである。

5.88. 水損失（すなわち、浸透）は、記録された暴風雨から降水量の増分を流出と比較することによって推定されるべきである。通常、損失量は初期損失として表され、その後一定期間の継続的な損失が続く<sup>37</sup>。流域の水損失を推定する際には、地下水の水位変動が考慮に入れられるべきである。

5.89. 2つの連続する暴風雨を仮定する場合、2番目の暴風雨に対する水損失は、土壌の飽和が高まり浸透が減少するために少なくなると仮定されるべきである。多くの場合、損失は無視されるが、これは最も保守的なアプローチである。

5.90. 単位図は、単位時間に流域に一樣に配分された単位降水量から生じる流出のハイドログラフである。典型的には、単位図は1時間に10 mmの降雨の増分から生じるハイドログラフである。時間増分は地域面積に応じて増減してもよい。実際には、単位図は一樣ではない降雨パターンに対して作成されるべきである。地形要因のために定型ではあるが一樣ではないパターンが発生する場合、単位図は流域における大型暴風雨に典型的なパターンに対して作成されるべきである。単位図は記録された洪水のハイドログラフ及びそれに付随する降雨から導き出されるべきである。

5.91. 小規模な洪水から導き出される単位図は、大型暴風雨に適用される際には流域の真の洪水特性を代表しない場合があるという事実には注意が払われるべきである。これは、流域の水力学的効率がある限度までは流出の増加とともに増加するため、また、堤防内から堤防外への流路に変化が生じる場合があるため、単位図モデルに対する線形性の仮定が常に妥当とは限らないことによる。一般に、非線形効果はピーク流量を増加させ、単位図のピークまでの時間を減少させる。さまざまな規模の洪水から導き出される単位図を比較することにより、大規模な洪水事象に対する非線形効果を推定することが可能な場合がある。利用可能な大規模洪水事象の現場観測データが十分でない場合、技術文献では、ピーク流量の5%～20%オーダーの単位図の調整及び/又はピークまでの時間の33%の短縮を見出すことができる。

---

<sup>37</sup> 例えば、典型的な損失は10 mmの初期損失と、それに続く1時間あたり2 mmの継続的損失となろう。保守的に低い推定値が選択される限り、損失の詳細な調査を行う価値がないことが多い。例えば、設計基準降水における最大毎時増分が150 mmの場合、そのような降雨での毎時2 mmの損失の影響は他のパラメータに内在する誤差と比較して有意ではない。

## 立地地点への洪水の経路

5.92. 発電所立地地点近くの洪水時の水位、流速及び他のパラメータを計算するために、数値モデルが使用されるべきである。正確な浸水図に加えて洪水の時刻歴が作成されるべきである。モデル作成者が指定する境界条件が発電所立地地点での結果に影響を及ぼさないようにするため、数値モデルの範囲には立地地点の上流及び下流の十分な距離を含めるべきである。

5.93. 数値モデルは、通常は1次元モデルか2次元モデルのいずれかであり、河川及び氾濫原の両方の地形と粗さの変化を正確に表現すべきである。基礎となるモデルのグリッドは、発電所立地地点付近でより精緻なものとされるべきである。モデルは立地地点付近の堤防、余水路、橋及び他の対象物によって生じる洪水水位及び流量の突然の不連続を捕捉すべきである。

5.94. 河口、河川構造物及び他の対象物によって誘起される可能性がある背水効果が下流の境界条件で考慮されるべきである。モデル作成者は、下流の境界条件が発電所立地地点での結果に影響を及ぼさず、また、いかなる不確かさも保守的な仮定を行うことにより考慮されていることを検証すべきである。

5.95. 数値モデルは、観測され記録された洪水に対して利用可能なデータセットと比較して較正され、また、妥当性が確認されるべきである。これらのデータセットには、流量、水位及び利用可能であれば流速の測定値を含めるべきである。

5.96. 洪水水位の変化速度が比較的小さな洪水に対しては、定常状態の流路選択が適切な場合がある（例えば、大きな貯水池を通過する洪水の流路選択）。しかし、洪水水位の時間変動が大きい場合又は最大洪水水位のより正確な表現が必要な場合には、非定常流の流路選択が適用されるべきである（例えば、自由に流れる川を通過する洪水の流路選択）。

5.97. 河川流量が経時的に一様である場合にのみ、独特な水位流量関係が生じることがある。流量が急速に変動する大規模な洪水事象の間には、ピーク河川流量のタイミングは恐らくピーク水位とは一致しないことになる。この現象は非定常流モデルの結果を解釈する際に考慮されるべきである。

5.98. 河川の基底流量は、参考洪水が予想される季節及び期間を代表するものであるべきである。基底流量は一般的に洪水事象時の河川流量に対してわずかな割合であるため、基底流量の推定は大部分のハザード評価には十分である。

5.99. 河道は洪水事象の結果として蛇行する場合がある。発電所立地地点から離れる方向への蛇行の可能性は、安全関連の冷却水の喪失を引き起こす場合がある。同じように、立地地点に向かう蛇行は立地地点の洪水を誘発する場合がある。立地地点付近の河道の安定性がハザード評価で解析されるべきであり、また、必要であれば、護岸のための適切な設計と運用の措置が実行されるべきである。

## 流体力、堆砂及び侵食

5.100. 洪水は、浸水に加えて、洪水防護障壁を洗掘することにより、浸水したあらゆる建屋に直接的な流体力を生じることにより、堆砂作用及び／又は立地地点の安全関連の対象物の閉塞により、又は構築物を侵食して不安定にすることにより、発電所の安全に影響を及ぼす可能性がある。

5.101. 流速及び浸水した構造物にかかる流体力を推定するために、立地地点の詳細な3次元の数値モデル及び/又は物理モデルが必要となる場合がある。洪水位の保守的な推定のために大きめの粗度係数が考慮されている場合、保守的な流速値を得るために、これらの粗度係数の調整が検討されるべきである。

5.102. 堆砂、侵食及び洗掘といった現象を研究するために、数値モデルと物理モデルの組合せが考慮されるべきである。

### ハザード評価から導き出すパラメータの値

5.103. 降水による洪水の解析に基づくハザード評価の結果には次を含めるべきである。

- (a) 流量：発電所立地地点での洪水事象全体のピーク流量と排水の時刻歴（洪水ハイドログラフ）
- (b) 水位：立地地点でのピーク水位と水位上昇の時刻歴
- (c) 流速：立地地点付近の平均流速。多くの場合、構造物への流体力学的影響の解析並びに立地地点付近での堆砂の推定及び侵食の可能性の推定に、断面の特定部分での流速の推定値が必要である。
- (d) 河床と堤防の安定性：洪水事象中及び洪水事象後の両方における河川の蛇行、河道の分岐並びに河床及び堤防の堆砂と洗掘の可能性
- (e) 堆積物の輸送：浮遊砂と掃流砂

### 貯水の突然の放出による洪水

#### 全般的な推奨事項

5.104. ダム若しくは堤防又はタンクなどの人工構造物、あるいは河道の障害物となる雪若しくは氷による閉塞又は漂流物による閉塞などの自然要因によって水が蓄えられる場合がある。そのような保水構造物の機能不全は立地地点区域において洪水を誘発する場合がある。機能不全は水文学的要因、地震又は他の原因で発生することがある。起こりうる起因事象には次のものを含む。

- コンクリート又は築堤保護の経年劣化
- 亀裂を伴う過度な又は不均等な沈下
- 配管の劣化と浸出
- 欠陥による基礎の劣化
- 穿孔動物又は植物根の作用によって生じる基礎、築堤の縁又は（「小孔を通じた」）水みちからの漏洩
- 水門の故障などの機能不全
- 上流側前面へのシルト又は漂流物の蓄積
- 貯水池への地すべり
- アースダムの内部侵食

5.105. ダム施設の動作不良は、時に自然起源の洪水を上回る洪水を発生することがある。これに関して、起こりうる放水の規模を評価し、また、動作不良の可能性を調査するために、上流のダム、特に大量の流れを制御できる水門を備えているダムの調査が実施されるべきである。

5.106. 動作不良又は設計値を超える水の流入のいずれかのために、放水口（ダム之余水吐き）の容量が貯水池への流入量に比べて不十分となることによって、水管理構造物の水文学的な機能不全が発生する可能性がある。これは水位の上昇を引き起こし、ダムの越流が起きる可能性がある。アースダム又はロックフィルダムの場合、越流によってダムの決壊が生じる場合がある。

5.107. 降水による洪水と水管理構造物の機能不全による洪水との1つの重要な相違は、水管理構造物の機能不全による洪水は、高速で下流に押し寄せる非常に高い波が発生し、短い警告時間しかないうちに発電所立地地点に到達する可能性がある点である。発電所立地地点と立地地点に建設される構築物に少なからぬ動的作用を及ぼす可能性がある。

## ハザード評価

5.108. 既存又は計画中の全てのの上流ダムは、潜在的な機能不全又は誤動作について考慮されるべきである。一部のの上流ダムは、貯水量が少ないか、立地地点から離れているか、若しくは水頭差が小さいため、又は介在する人工又は自然の保水能力が大きいため検討から除外される場合がある。鉱業廃棄物埋立場、渓谷をまたぐ高速道路の盛土又は低い橋などの人工構造物が洪水発生時にダムとして機能する可能性があるという事実を考慮して、河道の自然閉塞が起こりうる区間を決定するために、立地地点上流の排水区域の詳細な調査が実施されるべきである。堤防又は土手が継続的に水を蓄えていなくても、これらの構造物は洪水事象時に突然機能しなくなることがあるため、ハザード評価で考慮されるべきである。さらに、タンク及び水路を含む立地地点の既存又は計画中の全ての水管理構造物が調査で考慮されるべきである<sup>38</sup>。

5.109. 支流に位置するダムは、その支流が立地地点の下流にある場合でも、ダムの決壊が立地地点での洪水ハザードを増加させる可能性がある場合には調査で考慮されるべきである。

5.110. 下流ダムの決壊による立地地点での洪水水位の低下は、ダムが決壊することを確実に実証できない限り考慮されるべきでない。

5.111. 要求された超過頻度でダムが決壊しないことが工学計算によって実証されない限り、ダムの決壊が仮定されるべきである。水管理構造物の安全及び安定性を実証することは一般的に非常に困難で、費用がかかり、また、時間を要するため、構造物の機能不全を仮定することにより単純な保守的解析を行うことが効率的な場合がある。この単純化した保守的な解析の結果が発電所立地地点での洪水の影響を示さない場合は、部分的な機能不全が仮定されるような詳細解析又は構造物が損傷しないことを実証する詳細解析は不要である。

5.112. 洪水又は地震などの同一事象によって2基以上のダムの決壊が引き起こされる可能性が調査されるべきである。設計基準洪水の事象では安全なダムでも、上流ダムの決壊の結果として機能しない可能性がある。決壊しないことが確認されない限り、立地地点への経路沿いにある全てのダムの潜在的な決壊が考慮されるべきである。動作不良が関連する合理的な可能性があれば、2基以上のダムの同時に起こる動作不良も考慮されるべきである。複数のダムが異なる支流に位置する場合、洪水の波が同時に発電所立地地点に到達す

---

<sup>38</sup> 加盟国の慣行に従って、これらの構造物の機能不全は内部事象又は外部事象のいずれかとみなされる。

る物理的可能性及び該当する場合はその頻度と影響が考慮されるべきである。

### 水管理構造物の安定性及び存続性の解析

5.113. ダムの決壊は、発電所立地地点での最大の局地的洪水を引き起こす事象以外の降水事象が原因で発生する可能性がある。等降水量線がダム上流の流域に集中する事象（すなわち、ダムでの最大洪水）又は等降水量線が立地地点の上流域全体に集中する事象（すなわち、立地地点での最大洪水）を含め、いくつかの降水事象が精査されるべきである。

5.114. 堤防及び土手の水圧破壊の可能性は、構造物背後の保守的な水位及びこの水位の継続時間を考慮して評価されるべきである。

5.115. 水管理構造物の耐震解析には動荷重の考慮が必要である。越水による決壊の可能性に関して、地震によって誘発される波及びダムの付属装置へのそれらの影響が解析されるべきである。地震動による水門の突然の機能不全も調査されるべきである。

5.116. 詳細な安定性解析には構造物の状態に関する適切な文書が必要である。適切な国の技術機関によって発行された検査報告書が安定性解析で使用されるべきである。追加のデータには、構造物の現場に設置された計器によって収集された関連データとともに、構造物の基礎部分の強度試験の結果並びに他の機関による現地調査及び検査を含めるべきである。個々の構造物について適切な耐震評価が実施されるべきである（参考 [4]を参照）。

5.117. 是正措置の実施に対して十分早期に水管理構造物の漸進的な変化を検出するため、適切な検査と監視が行われるべきである。

### 決壊時の条件及び下流の経路

5.118. 水管理構造物が破損しないことが実証できない場合、安定性解析に基づく保守的な判断を使用することにより、構造破損のモード及び程度が仮定されるべきである。破損モードの仮定においては、建設材料（例えば、コンクリート、盛り土）及び構造物のすぐ下流の地形が考慮されるべきである<sup>39</sup>。

5.119. 重力式コンクリートダムは転倒及び滑動について解析されるべきであり、起こりうる破損のモード及び程度は、最も重要な位置及び予想される瓦礫と漂流物の量とともに判断されるべきである。この解析から、仮定された破損部分に適用される時に、合理的な精度で水の経路及び発生しそうな水位上昇と流れの関係を推定することが可能となるべきである。

5.120. アーチダムの決壊は、実際には瞬時に起きる可能性が高く、ダムの破壊は全壊となる場合がある。したがって、決壊を免れることが実証されない限り、アーチダムの瞬時の全面決壊が瓦礫と漂流物の著しい蓄積なしに仮定されるべきである。

5.121. 一般的に、決壊はコンクリートダムよりもロックフィルダム又はアースダムの方が徐々に発生する。構造物の全壊までの時間は数十分から数時間までの幅がある。決壊の時間、速度及び破壊の大きさを決定するために侵食の計算を行う際には、内部侵食による

---

<sup>39</sup> 1998年に発行された国際大ダム会議の公報 111 は、ダム決壊洪水の解析に関するレビューと勧告を示している。

初期のノッチ又はパイピング現象が仮定されるべきである。これらの計算によって流出ハイドログラフを作り出すべきである。ダム崩壊までの時間を決定することができない場合は、保守的に瞬時の決壊が仮定されるべきである。

5.122. 前の項で説明された手順のほとんどは、地震による決壊に適用できる可能性がある。しかし、水文学的な原因によるダムの決壊に対するモデルでは、ダムは越水すると仮定されるのに対して、地震による決壊では越水は必ずしも発生しない。破損のモード及び程度は、可能な範囲で安定性解析に基づいた保守的な判断を用いて仮定されるべきである。

5.123. 決壊時に水管理構造物によって蓄えられている水の量は、可能な最大量であると見なされるべきである。しかし、地震と洪水は関連する事象ではないため、地震により誘発される決壊に対しては通常水位が考慮される可能性がある。

5.124. 決壊した構造物からの放出量は、破損の程度及びモード、結果として生じる水源と流れの関係並びに貯水池の形状及び容積に依存する。決壊による洪水波の下流での経路に対しては、非定常流法が使用されるべきである。

#### 漂流物及び氷の状態による障害

5.125. 浮遊物による河道の障害の影響を解析的に予測することは非常に困難である。安全上重要な構築物及び系統が、氷（海氷及び晶氷を含む）又は流木などの漂流物及び浮遊物の悪影響を受けないことを確実なものとするために、また、ハザードを評価するための現場データを提供するために、既往の記録が分析されるべきである。設計基準条件の評価には次のシナリオが考慮されるべきである。

- (a) 氷による被覆、氷による堰き止め及び漂流物による堰き止めによって生じる背水効果
- (b) 氷及び漂流物によりダム、取水構造物、水門及び制御設備にかかる力
- (c) 晶氷、氷及び漂流物による取水スクリーン、ポンプ、弁及び制御設備の閉塞
- (d) 閉鎖性水体での氷の乗り上げ
- (e) 氷及び雪の滑落によって生じる安全関連取水口の詰まり
- (f) 近くの水体への氷及び雪の滑落によって生じる大波又は静振

5.126. 取水口の閉塞及び洪水位への影響に加え、氷及び漂流物は構造物に動的及び静的な力を及ぼす可能性がある。氷の潜在的な厚さ、氷塊の密度、頻度及び継続時間並びに氷が発生する季節の通常期間と極端な期間を設定するために記録が精査されるべきである。流木又は流木の詰まりなどの大型の漂流物の可能性を設定するためにも記録が精査されるべきである。構造物は、氷及び漂流物による構造負荷、安全関連取水口の閉塞による冷却水の喪失並びに氷及び漂流物の詰まりが引き起こす潜在的な背水効果による洪水に耐えるように設計されるべきである。

#### ハザード評価から導き出すパラメータの値

5.127. 洪水解析の一環として計算されるべきパラメータには次のものが含まれる。

- (a) 発電所立地地点での洪水事象全体のピーク流量と排水の時刻歴（洪水ハイドログラフ）
- (b) 立地地点でのピーク水位と水面上昇の時刻歴
- (c) 氷及び漂流物による取水口の閉塞

- (d) 水及び漂流物の流れに起因する動的及び静的な力

## 潮津波及び機械的に誘発される波

### 全般的な推奨事項

5.128. 潮津波は、上げ潮が河川に波を誘発させる水理現象である。これらの波は上流方向へ、すなわち河川が通常流れる方向とは反対に伝搬する。ダム又は放流管理構造物の近くの水路又は貯水池では、機械的に誘発される水理的な波が形成されることがある。構造物を通過する放流が突然止められる時に波が誘発される（例えば、水力発電所での負荷遮断による）。この波は水路又は貯水池を通過して上流方向へ、すなわち河川が通常流れる方向とは反対に伝搬する。水路断面の減少並びに構造物及び汀線からの反射により、波高が増幅されることがある。

5.129. 観測された水面上昇の記録は、潮津波又は機械的に誘発される波のいずれかの証拠について精査されるべきである。機械的に誘発される波の場合は、立地地点に影響を与えうる波を発生させる可能性について立地地点近傍にある全てのダム及び放流管理構造物が考慮されるべきである。

### ハザード解析

5.130. 立地地点の近くで、又は水管理構造物から貯水池又は取水／排水の水路に沿って発電所立地地点まで、顕著な高さの潮津波又は波が発生する可能性がある場合は、複数の決定論的シナリオが洪水ハザードの評価で考慮されるべきである。潮津波又は機械的に誘発される波を発生させる事象は、評価において明確に特定されるべきである。解析ではまた、貯水池又は運河での水位の範囲及び河川又は運河への放流量の範囲を考慮すべきである。

5.131. 複雑な水深の場所については、数値モデル（1次元、2次元又は3次元）又は物理的モデルが、水管理構造物から発電所立地地点までの波の伝播に対して使用されるべきである。

### ハザード評価から導き出すパラメータの値

5.132. 立地地点が潮津波又は機械的に誘発される波から生じる洪水の影響を受けやすければ、最大遡上高とそれに伴う継続時間が評価されるべきである。

## 高地下水位

### 全般的な考慮事項

5.133. 最上位の地層における地下水位の上昇は、一般的には別の現象の影響である。河川又は海岸区域の近くに位置する発電所立地地点の場合、その地下水位の上昇は一般的に水理的に帯水層とつながる地表水体の水位上昇と関連している。大規模な降雨事象又は水管理構造物の機能不全などの追加の現象も地下水位を上昇させる原因となる可能性がある。地下水位の変動は、土壌と岩盤の特性、特に地質媒体の透水性と間隙率に依存する。地下水位の年変動の範囲は、特に地質媒体の幅広い多様性のために、数センチメートルから数十メートルの幅をもつ場合がある。



## ハザード解析

5.134. 有意に高い地下水位の頻度は、地下水体の状態と範囲を明確にするために、発電所立地地点の水文地質学的調査に基づいて決定されるべきである。決定論的又は統計的なハザード解析のいずれかの方法により、ハザードが評価されるべきである。統計的アプローチを用いる際には、間隙水圧データの信頼性と十分性に特に注意が払われるべきである(3.31項を参照)。地下水位の敷地内での測定数及び対象期間が限られる場合、観測された地下水位を、例えば長期間観測された井戸の記録及び気象記録と相関させることにより、記録を統計的に拡張することが考慮されるべきである。

5.135. 水文地質学的モデルの使用が考慮されるべきである。場合によっては、複雑なモデルに頼ることなく、水文地質学的条件から地下水位の物理的限界を簡単かつ保守的に決定することができる。モデルは一般的に観測された水位を使用して調整される。この観測水位は極端な事象の際に達する可能性がある水位を代表するものではない場合がある。したがって、地下水面上部の地層に関するモデルの仮定の保守性を正当化することが必要である。

5.136. 本安全指針に記載される全ての水文現象を考慮することにより、立地地点に関連する地下水上昇の考えられる全ての原因が特定されるべきである。次に、主要な原因が解析で特定されるべきであり、また、極端な地下水位が水源に関連する極端な条件から導き出されるべきである。このプロセスでは、初期条件(すなわち、初期水位)の指定において保守的な仮定が考慮されるべきである。

## ハザード評価から導き出すパラメータの値

5.137. 立地地点での極端な地下水位及びそれに伴う構造物への圧力が特性付けられるべきである。地下水位が地表面又は地下水排水路の水位に達すると予想される場合、水が排出される方法とともに予想される排出量が特性付けられるべきである。該当する場合、地下水位低下対策の潜在的な必要性が特定されるべきである。

## 6. 設計基準パラメータの決定

### 気象学的な設計基準パラメータ

6.1. 第4章で検討されたさまざまな気象学的ハザードに対して、第2章で議論された評価方法を使用して極値が指定される。一般的に、気象学的ハザードが特定のハザードと干渉し、これを高めることがない限り(例えば、着氷性の降水と風、4.17項を参照)、それらが同時に発生する場合でも各々の気象学的ハザードは個別に決定される。各々の気象学的ハザードに対する設計基準パラメータは次のとおりである。

- 乾球温度の最高値及びその際の湿球温度
- 湿球温度単独の最高値
- 乾球温度の最低値
- 最大風速
- 降水量の極大値

- 降水量の極小値
- 積雪量の極値
- 落雷に対する年超過頻度
- 熱帯低気圧、台風及びハリケーンに対する設計基準パラメータ
  - ・最大風速
  - ・風速の鉛直分布
  - ・指定レベルを超える風の強さの継続時間
  - ・風による投射体
- 竜巻
  - ・最大風速
  - ・指定レベルを超える風の強さの継続時間
  - ・最大気圧低下幅
  - ・最大気圧低下率
  - ・風による投射体

6.2. 流出のような水文学的事象を引き起こす降水などの気象事象は、併せて対処されるべきである。設計目的のための設計基準パラメータの値は、統計的処理によって、又はそれらを発電所への潜在的影響が異なるハザードの各々について所与の年超過頻度（又は再現期間）と関連付けることによって導き出される。発電所立地地点で起こりうる気象現象に付随するハザードに対処するために、ある加盟国が立地評価の一環として使用する気象学的な設計基準パラメータの例を添付資料 I に示す。

6.3. 立地地点に関連する場合、4.64項～4.74項で推奨されているように、発電所の設計基準に対して特定され、また、評価された、他の立地地点固有の気象現象（砂塵嵐及び砂嵐、雹並びに着氷性の降水及び霜に関連する現象など）に対する設計基準パラメータは以下のとおりである。

- 砂塵嵐及び砂嵐
  - ・砂塵及び砂の総荷重 ( $\text{mg} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ )
  - ・継続時間 (h)
  - ・平均荷重 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
- 雹
  - ・過去に発生した最大の雹粒子の大きさ
  - ・その粒子の終端速度
- 着氷性の降水及び霜に関連する現象
  - ・氷厚のノミナル値
  - ・その際の風速

#### 水文学的な設計基準パラメータ

6.4. 発電所立地地点に対する設計基準洪水を導き出す際には、2.11 項に記された単一事象と同様に複合事象が考慮されるべきであり、また、それに対応するハザードが第 5 章に従って評価されるべきである。特定の立地地点に対する設計基準洪水は、1 つの極端な事象の発生からでなく、それ自体は結果として生じる複合極端事象よりも過酷さが小さい、複数の過酷な事象の同時発生から生じる場合がある。潜在的に洪水を引き起こす現象の相互依存性又は独立性は、立地地点の固有特性に関連して精査されるべきである。加えて、設計基準洪水が自然事象に含まれる全ての不確かさを組み込んでいることを確実なものとするために、適切な感度解析が行われるべきである。洪水を引き起こす事象の組合せの多

くでは、依存性のある事象と独立した事象の区別ははっきりしていない。例えば、順次発生する気象事象は、部分的にのみ依存しているか又は互いに完全に独立である。対照的に、地震事象と風の事象は明らかに独立している。

6.5. 2つ以上の事象の同時発生確率を評価するための判断基準は、ランダムプロセスとして対象とする現象のモデル開発を必要とする。プロセスが独立であると仮定できれば、それらの同時発生は個々の確率関数の積によって表されるべきである。関連する現象の確率的性質及び非線形な性質並びにそのような場合に適用可能なあらゆる規制要件又は指針を考慮し、事象の組合せが慎重に解析されるべきである。さらに、重大な洪水を引き起こす事象又は選択された組合せの各事象に関連する周囲条件も考慮に入れられるべきである。

6.6. 以下を考慮することにより、極端な事象と風浪及び基準水位との適切な組合せが考慮に入れられるべきである。

- (a) 極端な事象（高潮、河川洪水、静振及び津波のような事象）
- (b) 極端な事象に関連しているか又は関連していない風浪
- (c) 基準水位（顕著であれば潮汐を含む）

それぞれの組合せの年超過頻度が推定されるべきである。

6.7. 各個別の事象又は事象の組合せにおいて超過されるべき、特定レベルの影響の過酷さに対する年超過頻度を評価するためにはデータが十分ではない場合があるが、次の値については、合理的で保守的な値が推定されるべきである。

- (a) 各個別の事象に対する年超過頻度
- (b) 別々の過酷な事象が事象の組合せにおいて一緒に発生する可能性

この推定では、各事象ごとに過酷なレベルが発生する継続時間を推定する際に注意が払われるべきである。

6.8. 複合事象の影響の評価については、独立した事象がそれらの影響が蓄積されることになる条件で発生する可能性は、各事象の過酷さのレベルの継続時間に関連することが考慮されるべきである。組み合わせられる独立した又は一部依存性のある事象の数が多くなるほど、また、各事象の過酷さが大きくなるほど、それらの組合せの年超過頻度は低くなることになる。複合事象の年超過頻度は、各事象の年超過頻度の積よりも大きくなる。

6.9. 組み合わせられるべき事象は、結果として生じる年間発生頻度だけでなく、結果として生じる洪水事象の過酷さに対して各2次事象が及ぼす相対的影響も考慮に入れ、適切に選択されるべきである。例えば、河口の立地地点では、精査されるべき組合せには、局地的降水だけでなく海洋条件と河川条件の両方を含めるべきである。これらの組合せの影響が重大であり、結果からの組合せの年超過頻度がそれほど低くない場合は、それらが考慮に入れられるべきである。適切な組合せを選択する際には、少なからぬ工学的判断が使用されるべきである。

6.10. 規制要件及び原子力発電所に対する設計基準洪水を導き出す際に考慮されるべき関連基準水位に従って、極端な事象の組合せに対して、限度となる年超過頻度の許容値が設定されるべきである。以下の条件で、事象の特定の組合せを考慮から除外することができる。

- 想定される組合せは発電所の特定の部分に組合せの影響を発生させない。
- 複合事象の年超過頻度は許容可能な年超過頻度の限度以下である。
- 組合せは物理的に不可能である。

6.11. 風浪の活動は全ての洪水事象と共に考慮されるべきである。高潮又は静振では、風浪は依存性のある事象であり、高潮を発生している嵐によって引き起こされる波が考慮されるべきである。一部の海岸地域では、風が発生させる波が主要な洪水事象を構成している可能性があり、付随する高潮成分はそれほど重要ではない場合がある。これらの場合には、風浪の影響の評価及び洪水を引き起こす事象の適切な組合せの選択には特別な注意が払われるべきである。津波と河川洪水は、通常は独立した事象であり、過酷な風浪の同時発生は無視される場合がある。すなわち、より短い再現期間の風浪だけが組合せで考慮されるべきである。一般に、風は、高水位の河川洪水又は洪水を発生させる気象条件に伴う従属変数である可能性が考慮されるべきである。

6.12. 静振は、気圧の変動、高潮、風速の変化及び背景にある不規則な波といった原因によって引き起こされる場合がある。そのため、静振の発生は、本安全指針で議論されている洪水を引き起こす他の事象に依存する場合がある。静振が重要となる可能性がある発電所立地地点に対して適切な組合せを選択する際には、この事実が考慮されるべきである。

6.13. 汀線の不安定性、漂流物による閉塞及び氷による影響の可能性が評価されるべきであり、また、これらの事象の発生が立地地点での洪水に影響を与える場合、それらは洪水を引き起こす他の1次事象と組み合わせられるべきである。

6.14. 単一の水文学的事象の間に又は同時に起こる風浪現象による静水の上昇を含む水文学的事象の組合せの間に水面が到達する最大静水位は、設計基準洪水のパラメータを構成する。津波又は風浪に対してのように関連性がある場合は、付随する遡上高及び水平方向の浸水が、そのような現象に対する設計基準パラメータに含められるべきである。設計基準洪水のパラメータはまた、付随する波の動的効果（例えば波の動力学）の決定に関連するパラメータを含むべきである。

6.15. 単一の水文学的事象の間に又は津波、静振及び付随する水位低下の継続期間のような水文学的事象の組合せにおいて、水面が到達する最小水位は、設計基準低水位のパラメータを構成する。

6.16. 立地地点での最悪な地下水位から生じる条件は、設計基準地下水パラメータを構成する。

## 7. 立地地点の防護のための手段

### 総論

7.1. 原子力発電所の設計は次の考慮事項を含むべきである。

- ダム又は堤防といった立地地点区域の防護のために建設される構造物に対する設計パラメータの評価
- 立地地点区域を計算された洪水水位よりも高くする効果の評価
- 水の侵食作用に対する耐性のために可能な限り最良の材料の選択

- 防護のために最も適切な発電所配置の評価
- 防護のための構造物と発電所構築物との間で起こりうる干渉の検討
- 気象学的及び水文学的なハザードを最小とするための運転手順と緩和メカニズムの評価

実際的な理由のため、立地地点のほとんどの防護手段は、低水位又は気象学的なハザードよりも洪水ハザードを対象にしている。

7.2. 実行されるあらゆる防護手段（ダム構造物、堤防、人工の丘及び埋戻しなど）が発電所の設計基準に影響を与える可能性がある。そのような防護手段の安全機能は原則として設計に対する関連安全指針で考慮される可能性があるが、防護手段は立地評価に対する現在の枠組みに含まれる。発電所の構築物に直接接続されるいわゆる「組込み障壁」（特殊な擁壁又は貫通部の閉鎖機構）は、そのような立地地点の防護手段の一部とはみなされないため、文献[5]で取り扱われる。

7.3. 外部障壁及び自然又は人工のプラントアイランドは安全上重要な機能とみなされるべきであり、それに応じて設計され、建設され、また維持されるべきである。

7.4. 防護手段の検討は、立地地点の水理的及び地質学的な環境の完全な理解が得られた後に実施されるべきである。

#### 立地地点防護の種類

7.5. 原子力発電所は、次のいずれかのアプローチにより設計基準洪水から防護されるべきである。

- (a) 「ドライサイト」の概念：この場合、安全上重要な全ての機器等は、風浪の影響並びに氷及び漂流物の潜在的な蓄積の影響を考慮して、設計基準洪水の水位よりも上に建設されるべきである。これは、必要であれば十分に高い標高に発電所を配置することによって、又は立地地点の地盤面を高くする建設準備によって達成することができる<sup>40,41</sup>。立地地点境界は監視され維持されるべきである。特に、設計基準洪水に対する洪水条件のレベルよりも上に発電所を高くするために何らかの盛土が必要な場合は、この工学的な発電所の項目は安全上重要な項目とみなされるべきであり、そのため適切に設計され維持されるべきである。
- (b) 堤防、防潮堤及び隔壁などの恒久的な外部障壁：この場合、適切な設計基準（例えば、関連する場合は耐震認定に対する基準）が障壁の設計のために選択されるように注意が払われるべきである。障壁構造物に対する洪水設計基準のパラメータの値は、発電所の構築物、系統及び機器の設計に対して定義されたものとは異なり、より厳しい場合がある。そのような障壁が発電所の運転組織の責任下にはないとしても、外部障壁の定期的な検査、監視及び保守が行われることに注意が払われるべきである。堤防、防潮堤及び隔壁は、立地地点から水が排出できることを確実なものとするため、また、これらの外部障壁が河川又は他の水体への水の放出を妨げるダムとして機能しないことを確実なものとするため、検査されるべきである。恒久的な外部障壁は安全上重要な機器等とみなされるべきである。

<sup>40</sup> 施設の一部は（例えば、原子力発電所のポンプ室）、より頻繁に洪水に晒される可能性があり、追加の防護機能を必要とすることになる。

<sup>41</sup> ほとんどの加盟国では、恒久的な外部障壁の建設を含む方法(b)よりも方法(a)が好まれている。

7.6. どちらのアプローチに対しても、立地地点の洪水に対する冗長な手段として、全ての発電所状態における基本的安全機能を確実なものとするために必要な全ての機器等の防水処理及び適切な設計により、極端な水文現象に対する発電所の防護が強化されるべきである。安全上重要な他の全ての構築物、系統及び機器は、設計基準洪水の影響から防護されるべきである。

7.7. 7.5 項に示した両方のアプローチについて、次の条件が満たされるべきである。

(a) 緊急時手順の実行とともに、発電所の安全な停止を完了するための十分な時間で立地地点の洪水可能性を示す状態を検出することが可能な警報システムが備えられるべきである。特定された洪水の原因に関するリアルタイムの監視データに基づいて特別な運転手順が規定されるべきである。[10]

(b)安全上重要な全ての機器等は（防護された外部電源から動力供給される警報システムを含む）、立地地点が位置する地理学的地域の特徴と見なされる洪水発生条件（例えば、風及び地すべり、ただし非常にありそうもない組合せは除く）に耐えるように設計されるべきである。

#### 立地地点防護の解析

7.8. 構築物に対する水の作用は静的又は動的な場合があり、また、影響の組合せである場合もある。多くの場合、洪水によって運ばれる氷及び漂流物の影響は、圧力の評価において重要な変数である。洪水による侵食もまた、安全に影響することがある。これは 5.100 項-5.102 項で議論されている。

7.9. 水文学的な問題に関連する他の因子は、主として取水口への潜在的影響及びそれによる安全関連の機器等への潜在的影響に対して、立地評価で考慮されるべきである。

- 水流により運ばれる物質の堆積
- 侵食
- 氷及び漂流物による取水口の閉塞
- 動物（例えば、魚、クラゲ、イガイ類及び二枚貝類）による生物付着
- 塩による腐食（海洋環境で激しい飛沫後に生じるもの）

設計の方法については文献 [10] を参照。

7.10. 本質的には構造継手又はケーブル導管及び検査用開口部の密閉不良を通して、安全関連構築物への水の望まない浸水（漏水）に関する多くの発生が記録されている。そのような漏水を防止する対策は主として設計に関連するが、洪水、地震若しくは火山活動、又は領域への人為的な改変の結果として生じる地下水面上昇の可能性に慎重な注意が払われるべきである。

7.11. 7.5 項で概説した洪水防護の 2 つのアプローチは、洪水の影響から原子力発電所を防護するための基本的なものである。場合によっては、これらのアプローチの組合せにより防護が達成されることがある。しかし、7.5 (a)項及び 7.5 (b)項で概説した建設のような、立地地点内又はその周囲での何らかの作業が立地地点での洪水水位に引き起こす干渉が慎重に解析されるべきである。

7.12. この枠組では、洪水防護のための構築物は、安全上重要な他の構築物の場合と同様

の方法で解析されるべきである。

## 汀線の安定性

7.13. 汀線の安定性は、特に大規模な水体の沿岸に位置する立地地点に対して、又は主流の変化が生じる可能性のある河川の三角州に位置する立地地点に対して、発電所立地地点の容認性を決定する際の重要な因子である。立地地点近くの汀線の安定性は、将来の原子力発電所が汀線の安定性に及ぼす影響と併せて調査されるべきである。堰又は橋の建設といった河川の排出に影響を及ぼす可能性のあるいかなる変更も、河川と海の両方からの水の流動パターンで考慮されるべきである。

7.14. 河川に位置する立地地点については、極端に激しい洪水における河道の安定性が考慮されるべきである。

7.15. 立地プロセスの早い時期に、局所的な汀線の安定性に関する利用可能な過去の全てのデータの収集及び解析を調査に含めるべきである。砂浜又はシルト質の浜については、浜を構成する物質の海岸-沖合の移動及び沿岸流による輸送の両方を仮定して、汀線の安定性を評価することが通例である。海岸が崖によって形成されている場合、長い期間をかけて海岸線に変化が生じる場合があり、歴史上の地図からこれを推測できる場合がある。

7.16. 汀線の長期的安定性及び過酷な暴風雨に対する安定性、この2つの側面に特に注意が払われるべきである。後者の安定性を調査するためには、起こりうる最大高潮を引き起こす暴風雨を考慮するだけでは通常は十分ではない。なぜなら、そのような暴風雨が極めて重要な侵食条件を発生しない場合があるためである。より長い継続時間の暴風雨又は立地地点で長時間にわたり高い波を引き起こすような方向をもつ風の場合、汀線及び原子力発電所の構築物に及ぼす侵食の影響の解析において考慮事項として通常採用される。

7.17. 沿岸の安定性に発電所構築物が及ぼす影響のうち、調査されるべきものには以下を含む。

- (a) 沿岸漂流の阻害による「上昇流」の増加と下流側の侵食
- (b) 海岸-沖合の物質移動がある砂浜の波打ち帯<sup>42</sup>に築かれた構造物との干渉によって引き起こされる浜の侵食

## 汀線の安定性の解析

7.18. 発電所立地地点で汀線が不安定になる可能性及び安全上重要な機器等に起こりうるあらゆる影響の可能性を決定するために解析が実施されるべきである。激しい暴風雨は、沿岸地帯、特に浜の縦断形状に著しい変化を引き起こすことがある。平衡状態にある浜の長期的な縦断形状は、一般的には、低頻度大規模事象によるよりもむしろ、適度に強い風、波及び潮流にさらされることにより決定されるが、両方の種類の事象が考慮されるべきである。解析はここに示す概略に従うべきである。

- 縦断形状（例えば、汀段、砂丘、人工構造物及び直近の水深状況）を含む汀線の構成を確定するための調査

---

<sup>42</sup> 「波打ち帯」は浜で波が作用する領域で、水位が変化するにつれて移動し、引き波の下限から打上げ波の上限まで広がっている。

- 浜を構成する物質の水平及び鉛直方向の粒径又は組成の典型的分布を決定するための調査
- 潮の動き（海面水位の変化を含む鉛直及び水平の動き）、波への暴露及び気候の研究
- 立地地点及び立地地点が面している海底での沿岸漂砂に対する条件の評価
- 砂の移動範囲の評価
- 短期及び長期にわたる汀線移動の傾向の確定並びに植生による保護作用の確定
- 堆積物の海岸-沖合の動きの方向と速さ、浜の縦断面の予想形状及びそれらの形状の予想される変化の決定
- 冷却水の構築物を含む原子力発電所が汀線の形状に及ぼす影響の評価

## 沿岸漂砂の評価

7.19. 波が海岸と相互作用して砂を動かす機構を知った上で、浜の特定区画で発生する潮流及び波候流況を調査することによって、沿岸地帯での沿岸漂砂が評価されるべきである。海岸近くでの波の状況、すなわち波高、その周期及びその伝播方向を調査するために次の側面が考慮されるべきである。

- (a) 海岸に隣接する海上区域における波の船上観測
- (b) 地域の気候図から得られる局地的な風のデータ
- (c) 少なくとも1年間、波浪計を用いて波の状況を記録することにより得られた、より詳細で信頼性の高いデータ
- (d) 局所的なデータが利用できない場合、近くの類似した場所から外挿される波のパターン

7.20. 汀線の長期的安定性及び過酷な洪水条件下での安定性を決定する実際の沿岸漂砂の計算には、波の屈折図を用いて評価されるべき碎波の高さ、周期及び方向に関するデータ並びに浜の堆積物の特性に関するデータが必要である。

7.21. 理論的予測は精度が不明であり、全ての海岸線に適用できない場合があるため、また、予測を定式化するために使用されるデータは通常は大きな実験的ばらつきを示すため、そのような理論的計算は海岸線の実際の動きに関する観測及び既往の情報によって補完されるべきである。

## 立地地点の排水

7.22. 安全関連の構築物、系統及び機器から局地的な激しい降水を排水するために、立地地点は適切に勾配が付けられるべきである。局地的な激しい降水による洪水は次の原因で発生する場合がある。

- 立地地点を防護するために使用される構造物の越水
- 安全関連の構築物、系統及び機器の隣接区域でのシートフロー
- 発電所に向かって流下する高台区域からの過剰な排水
- 立地地点区域内の小川又は人工水路の溢水
- 立地地点区域の地形及び不十分な浸透能力並びに効率的な排水系の欠如に起因する発電所区域での水の蓄積（すなわち、池の形成）
- 漂流物、氷又は雪に起因する暗渠及び排水構造物の閉塞

7.23. 立地地点の排水系は、必要な要員の活動のための立入りを含め、立地地点への立入りを保証すべきである。局地的な激しい降水による洪水は、効果的かつ効率的な立地地点



の排水系によって緩和されるべきである。

## 輸送及び連絡の経路

7.24. 運転経験は、緊急時対応チームとの連絡、運転員シフトの交替及び公衆への情報提供に当たり、立地地点及び立地地点と周辺区域との間の輸送経路及び連絡経路の利用不能に伴う全般的なリスクを強調している。緊急時に要員の有効性を確実なものとするのを助けるために、洪水及び過酷な気象学的事象の際に発電所要員の家族を保護するための適切な対策が、可能な場合には発電所のマネジメントによって講じられるべきである。そのような機能は、洪水及び／又は気象学的事象の間及びその後に保証されるべきである。

7.25. 洪水及び／又は過酷な気象学的事象の間及びその後に、立地地点外部の連絡経路を利用できるかは、運転組織の直接の管理下でない場合がある。そのような連絡経路の利用可能性は緊急時計画の重要な部分であるため、洪水又は過酷な気象現象のシナリオの専用解析が、立地地点に対するハザード評価の一部として管轄当局とともに実施されるべきである。

## 8. 時間の経過に伴うハザードの変化

### 総論

8.1. 水文学的ハザード及び気象学的ハザードは、次のようなさまざまな原因のため時間の経過とともに変化する可能性がある。

- 地球規模の気候変動に付随する地域的な気候変動
- 河口を含む排水流域の自然地理学的な変化並びに沖合の水深、海岸の縦断形状及び集水区域の変化、又は原子力発電所への風の効果に影響する可能性のある立地地点周辺区域の地表面粗度の変化
- 立地地点周辺区域での土地利用の変化

### 気候の進展に起因する変化

8.2. 気候の短期変動性及び長期変動の意味合い、特に、計画される発電所の運転期間に対して考慮されるべき気象学的及び水文学的な極値及びハザードに関連して考えられる影響に十分な注意が払われるべきである。原子力発電所の計画運転期間は約 100 年のオーダーであると仮定される。そのような期間にわたり、地球規模の気候は、地域的な短期変動を伴って変化すると予想される。したがって、気候予測の不確かさを考慮し、地域的な気候の短期変動性と長期的変動が考慮されるべきである。

8.3. 添付書類 IV には、「気候変動に関する政府間パネル第 4 次評価報告書」の内容並びに温室効果ガス排出シナリオ及び様々な気候モデルを使用した 21 世紀に対する予測に基づく将来の地球規模の傾向の可能性についての情報を示す。地域的傾向は地球規模の予測とは異なる可能性がある。したがって、可能であれば領域モデルを使うことが望ましい。遠い将来に対する結果は、温室効果ガス排出シナリオと気候モデルの両方から生じる大きな不確かさによっても影響される。局地的な観測は、観測された傾向を考慮するための統

計解析に使用されるべきであり、短期間（すなわち、数十年）におけるパラメータの極値を評価するための外挿に使用される可能性がある。

8.4. 原子力発電所のハザードに関する主要な影響は次の原因に関連している。

- (a) 気温と水温の変化
- (b) 海面水位の変化
- (c) 本安全指針で考慮されるいくつかの気象現象と水文現象（例えば、強烈な熱帯低気圧、高潮、河川流量）の発生頻度及び強度の変化

8.5. 将来の気候変動を考慮するため、原子力発電所の設計において追加の安全余裕が考慮に入れられるべきである。将来の気候極値の推定に影響を与える不確かさが低減されるか又は観測された傾向がより極端な気候極値の証拠を示す時には、設計パラメータの定期的な再評価が実施されるべきである（添付書類 IV を参照）。

時間の経過に伴うハザードのその他の変化

8.6. 河川流域については、設計基準洪水は流域の物理的性質に大きく依存する。河口については、設計基準洪水は、地形の変化又は高潮堤の建設のような他の変化の結果として時間とともに変化することがある。

8.7. 設計基準洪水の継続的な妥当性は、洪水に関係する場合がある流域内の状況を定期的に調査することにより点検されるべきである（例えば、森林火災、都市化、土地利用の変化、森林伐採、潮流口の閉鎖、ダム又は高潮堤の建設並びに堆積及び侵食の変化）。流域内におけるこれらの状況調査は、主として、必要に応じて地上調査で補足される航空調査により、適切な間隔で実施されるべきである。特に重要な変化（例えば、大規模な森林火災）が発生した場合、特別な調査が実施されるべきである。流域の大きさのために十分な頻度で航空調査が実施できない場合、衛星画像及び衛星リモートセンシングによって得られるデータの使用が考慮されるべきである。

8.8. 洪水予報及び監視システム並びにあらゆる警報システムの運用から得られたデータが、河口を含む排水流域の洪水特性の変化に対して定期的に解析されるべきである。

8.9. 排水流域の洪水特性における変化の兆候は、必要に応じて、設計基準洪水の値を改訂するために使用されるべきであり、また、系統及び構築物の防護、予報及び監視システム並びに緊急時手段を改善するために使用されるべきである。予報モデルは、必要であれば更新されるべきである。

8.10. いくつかの海岸区域では、気候変動から生じる現象と組み合わせるために、立地地点での見かけの水面高さの推定において地盤沈下（自然起源のもの又は石油、ガス及び水の抽出に関連する人為的なもの）が考慮されなければならない場合がある。

8.11. 地震による地球表面の永続的な隆起は、大規模な地震破壊帯に近い区域で恒常的な低水位シナリオをもたらす可能性がある。同様に、地震による地球表面の永続的な沈降は、大規模な地震破壊帯に近い区域で恒常的な浸水をもたらす可能性がある。

## 9. 施設の防護のための監視システム及び警報システム

### 全般的な推奨事項

9.1. いかなる気象的事象又は水文学的事象も原子炉等施設の立地地点に対して重大なハザードであると判明した場合には、立地地点の継続的監視は、以下に示す目的のために、立地地点選定を目的とした調査の段階から原子炉等施設の存続期間全体を通して継続的に満たされるべき必須の要件である(参考文献[1]の 5.1 項参照)。

- 特に、一連の既往データが非常に乏しい場合に、設計基準パラメータの妥当性を確認すること
- 定期安全評価（文献[11]を参照）に照らして立地地点のハザードの定期的な見直しを支援すること。この懸念は、地球規模の気候変動の影響の追跡調査として次第に差し迫ったものになりつつある。
- 運転員及び緊急時管理者に警報信号を提供すること

9.2. 気象的事象及び水文学的事象に対して、原子炉等施設の運転中に講じられるべき監視手段及び警報手段は、選定された立地地点によってもたらされる防護の程度及び施設的设计基準におけるこれらのハザードの考慮に依存することになる。これらの手段のいくつかは、設計基準パラメータの値の妥当性確認に役立つことがあるため、プロジェクトの早い段階で実行されるべきである。

9.3. 長期監視に使用されるべきデータと警報システムに使用されるべきデータは、監視の目的と警報システムの目的が同じではないため、異なる判断基準に基づいて選択されるべきである。長期監視の目的は、例えば定期安全レビューを実施する際の、設計基準パラメータの評価又は再評価である。警報システムの目的は、運転上の安全に影響を及ぼしうる極端な事象を予報することである。警報システムに対しては、施設を安全な状態に移行させることができる十分な時間内に、いかなる極端な事象も検知する能力に特別な配慮が払われるべきである。警報システムは、ハザードが施設的设计にとって重大な意味をもつ立地地点に設置されるべきである。

9.4. 運転員の行動が施設を安全な状態にするために必要な時間は、危険な事象の実際の発生を待たずに現象の傾向の外挿に基づいて行動することを必要とする場合があるため、警報システムは予報モデルと組み合わせて使用されるべきである。

9.5. 運転組織の外部の組織により利用可能な予報モデルに運転員が依存しているような事象が発生した場合、事象中のそれらの可用性及び信頼性を確実なものとするために、モデルの妥当性確認及びそのような組織との連絡経路の妥当性確認が実施されるべきである。

9.6. 監視システムの設置、それらの運用、付随するデータ処理及び運転員行動の適切な指示に対する能力及び責任を識別するために、特定の品質管理又はマネジメントシステム活動が実施されるべきである。これらの活動には、関係者全員に対して一定の間隔で演習訓練を計画し実行することを含めるべきである。

9.7. 一般的には以下の監視ネットワーク及び警報ネットワークが考慮されるべきである。

- 基本的な大気変数に対する気象監視システム
- まれな気象現象に対する気象警報システム（例えば、ハリケーン、台風、竜巻）

- 水位計測システム
- 津波警報システム
- 洪水予報システム

## 気象学的及び水文学的なハザードに対する監視システム及び警報システム

### 気象監視システム

9.8. 施設の立地地点が位置する地域が気象学的事象及び洪水事象に対する警報システムの対象範囲とされる場合は、警報を確実にかつ時間どおりに受け取るために管理上の取り決めがなされるべきである。そうでなければ、専用の監視システム及び警報システムを設置するかどうか考慮されるべきである。監視システムの範囲及び観測頻度は、地域的な水文学的条件と整合しているべきである。

9.9. 同様の取り決めは国の気象水文機関と締結されることがある。なぜなら、これらの機関のほとんどは、起こりうる荒天の発生について注意報と警報を発表しており（典型的には次の2日間に対して）、その対象とされる荒天は、熱帯低気圧、洪水のリスクがある豪雨、竜巻又は雹のリスクがある激しい雷雨、強風、熱波と寒波、雪、氷、著しい海岸潮位、高潮、地すべり、なだれ、森林火災、霧及び砂嵐である。一般的に、ハザードの過酷さと強さ、特定の事象が発生するまでの予想期間、予想される影響及び取るべきあらゆる行動について、追加情報及び勧告が与えられる。そのような情報及び勧告は一般に様々な情報伝達手段により入手できる。例えば、特定のメッセージは、定期的に更新され（一般には1日2回）、様々な情報システム（WMOの全球通信システム、インターネット）及び情報媒体（テレビ、ラジオ、新聞）を使用して登録された専門ユーザに送られる。

9.10. 気象レーダー画像及び衛星画像の定期的な入手は、危険な大気攪乱の位置と動きに関する有益な情報を提供することがある。そのような情報は、潜在的なハザードの接近についての早期警報、また、利用できる場合は降水と風についての警報を提供するために収集されるべきである。

### 津波警報システム

9.11. 津波ハザードが立地地点に対して重大なハザードであると判明した場合、施設の運転組織は津波警報監視センターと連絡を取り合うべきである。加盟国又は地域内で既に津波警報システムが存在している場所では、運転組織は、国又は地域の警報センター又は監視センターから発表されるメッセージを受け取るために、国の活動センター（添付書類 III を参照）又は警報センターに連絡をとるべきである。運転組織は、津波の推定到達時刻と高さの予想に使用するために、及び地方又は国の津波警報が解除された後に使用するために、標準的な運用手順を策定すべきである。

9.12. 地方、国又は地域の津波警報システムが整備されていない地域では、運転組織は、大きな地震の発生についての情報を得るために、国、地域又は世界の地震観測センターからメッセージを受け取るべきである。

9.13. 潮位観測所が既に海岸沿いに設置されている場所では、原子炉等施設の運転組織は、監視を担当している機関に連絡し、その地域に位置する全ての観測所から即時に直接データを受け取るように手配すべきである。

9.14. 潮位観測所がない海岸地域では、データ収集及び原子炉等施設へのデータの即時転送のために即時潮位観測ネットワークが構築されるべきである。顕著な潮差のある海岸に選定された立地地点に対して、又は施設の立地地点地域が津波若しくは高潮により影響を受けると認識された場合には、定期的な検潮が構築されるべきである。

9.15. 立地地点のできる限り近くに1箇所の潮位観測所が設置されるべきである。原子炉等施設が河川に位置する場合、河口に別の観測所が設置されるべきである。

9.16. 各加盟国は、津波のデータベース及び数値モデリングの結果に基づき、その海岸に対する警戒レベルを評価すべきである。そのような研究が原子炉等施設の地域で実施されていない場合、立地地点に対するハザードが評価されるべきである。

9.17. いくつかの火山は特定の観測所で監視されている。これらの観測所の中には、火山起源で発生する津波について、既に特定の調査と監視を実施している観測所がある。施設の立地地点が火山に近い場合、監視システム及び警報システムの状況に関する情報を得るために観測所に連絡が取られるべきである。

### ダム及び貯水池に対する監視システム及び警報システム

9.18. 取水を含む水管理のための構造物の水文学的及び構造的な特徴は、水位、流速、堆砂速度、構造物の下での浸透速度、応力及びひずみ並びに変位などのパラメータについて監視されるべきである。これらのパラメータの多くのデータは、構造物の運用者から入手可能とすべきである。構造物運用者と施設運転者との間に警報システムが構築されるべきである。

9.19. 安全関連システムの運転が警報システムの運転と連動して起動される場合、そのような連動の運用面が解析されるべきであり、また、安全関連システムの固有の安全レベルが警報システムの起こりうる信頼性低下によって減少しないことを確実なものとするように措置が講じられるべきである。

### 湖及び河川の監視システム及び警報システム

9.20. 湖及び河川に対して次のネットワークが考慮されるべきである。

- 洪水の予報モデル及び監視システム
- 施設の安全に関連する取水構造物を含む水管理構造物に対する監視システム及び警報システム

9.21. 洪水の予報モデル及び監視システムが地域に存在していれば、施設はそれらに接続されるべきである。洪水の予報及び監視のシステムがなければ、関連パラメータに関するデータの収集及び施設への転送のためのシステムが構築されるべきである。適切な水文学的予報モデルもまた開発されるべきである。衛星データ、衛星画像及び気象レーダー画像が使用されるべきである。土地利用の変化、森林火災及び広い区域の都市化を記録できるように、集水域の状況が定期的に監視されるべきである。これらの因子の変化は、流域の洪水特性を著しく変化させる可能性がある。

## 10. 原子力発電所以外の原子炉等施設

10.1. 1.12 項で言及されるように等級別扱いの使用を考慮して、10 章では、参考文献[7]で定義されるような、原子力発電所以外の広範な原子炉等施設に対する気象学的及び水文学的なハザードの評価に対する手引きを提供する。

10.2. 気象学的及び水文学的なハザードの評価を目的として等級別扱いが適用される場合、施設は、それらの複雑さ、潜在的な放射線ハザード及び存在する他の物質に起因するハザードに基づき等級分けされるべきである。気象学的及び水文学的なハザードは、この等級分けに従って評価されるべきである。

10.3. 施設を区分する前に、気象学的又は水文学的な理由で発生した事故において、施設の全放射能インベントリが放出されると仮定し、保守的なスクリーニングプロセスが適用されるべきである。そのような放出の結果として、作業員、公衆又は環境に許容できない影響が生じる可能性がなく（すなわち、そのようなインベントリ放出による作業員又は公衆の線量が規制機関により定められた許容限度を下回る）、また、そのような施設に対する他の特別な要件が規制機関から課されていないならば、施設は特定の気象学的及び水文学的なハザードの評価から除外してもよい。そのような場合、商業施設及び／又は産業施設に適用可能な国による各種地図と規則が使用される場合がある。

10.4. 保守的なスクリーニングプロセスの結果により潜在的な放出の影響が「重大」であると示される場合、10.5 項から 10.10 項に示される手順に従い、施設の気象学的及び水文学的なハザードの評価が実施されるべきである。

10.5. 気象学的又は水文学的な事象が放射線影響をもたらす可能性は、原子炉等施設の特性（例えば、その用途、設計、建設、運転及び配置）及び当該事象自体に依存することになる。そのような特性は次の因子を含む。

- 立地地点に存在する放射能インベントリの量、種類及び状態（例えば、固体若しくは液体又は処理されたもの若しくは単に保管されたもの）
- 施設で使用される物理的プロセス及び化学プロセスに付随する固有のハザード（例えば、臨界）
- 該当する場合には原子炉等施設の熱出力
- 異なる種類の活動に対する施設の設備構成
- 施設における放射線源の濃度（例えば、研究用原子炉では放射能インベントリの大部分は炉心と燃料貯蔵プールに存在することになるが、燃料処理及び貯蔵プラントでは放射能インベントリはプラント全体に分布する場合がある）
- 実験を行うために設計された施設の設備構成及び配置の性質の変化（そのような活動は固有の予測不可能性を有する）
- 想定される事故の管理に対処するための動的な安全系及び／又は運転員操作の必要性
- 事故を防止するための及び事故の影響を緩和するための工学的な安全施設の特性（例えば、閉じ込め及び封じ込めの系統）
- 事故の際にクリフェッジ効果<sup>43</sup>を示す可能性のあるプロセス又は工学的な施設の特性

---

<sup>43</sup> 原子炉等施設のクリフェッジ効果とは、一つの系統パラメータの小さな逸脱の結果、あるシステム状態から別のシステム状態への急激な移行によって生じる、深刻な異常なシステム挙動の事例であり、このように入力の小さな変動に反応したシステム状態の突然の大きな変動である。

- 気圏及び水圏への放射性物質の拡散の影響に関連する立地地点の特性（例えば、大きさ、地域の人口統計）
- 敷地内及び敷地外の汚染の可能性

10.6. 規制機関の判断基準に応じて、上記の因子のいくつか又は全てが考慮されるべきである。例えば、燃料破損、放射性物質放出又は線量が、対象の条件又は指標となる場合がある。

10.7. 等級分けのプロセスは次の情報に基づくべきである。

- (a) 施設に対する既存の安全解析書、これを主要な情報源とすべきである
- (b) 実施されていれば確率論的安全評価の結果
- (c) 10.5 項に示された特性

10.8. 既存の施設では、等級分けが設計段階又はそれ以降に実施されている場合がある。もしそうであれば、この等級分けが根拠とした仮定及びその結果としての区分は見直され、検証されるべきである。その結果は、(従来施設に付随するような)放射線影響がないものから、大きな放射線影響、すなわち原子力発電所に付随する影響までに及ぶ場合がある。

10.9. この等級分けプロセスの結果として、国の慣行に応じ、次のような3つ以上の施設区分が定義される場合がある。

- (a) 放射線学的に最も危険が少ない施設は、国の建築規則又は危険な産業施設のために策定された規則で定義されている施設のような従来施設（病院等の必須施設又は石油化学プラント等の危険施設）と同様である。
- (b) 最高位の危険施設は、そのハザードが原子力発電所に付随するハザードに近い施設である。
- (c) 従来施設（必須施設又は危険施設）と同等と定義されるものと原子力発電所に対する区分との間にあると規定される危険施設の中間区分が、しばしば1つ以上存在する。

10.10. 気象学的及び水文学的なハザードの評価は、次の手引きを使用して実施されるべきである<sup>44</sup>。

- (a) 最も危険が少ない施設については、国の建築規則及び各種地図から気象学的及び水文学的なハザードが引用される場合がある。
- (b) 最高危険区分の施設では、本安全指針の前の章で述べているように、気象学的及び水文学的なハザードの評価に対する手法が使用されるべきであり、原子力発電所に適用できる推奨事項に従うべきである。
- (c) 中間の危険区分に分類された施設については、以下を適用できる場合がある。
  - 気象学的及び水文学的なハザードの評価が、典型的には、本安全指針で述べているものと類似した手法を使用して実施される場合、これらの施設を設計するためのより低い厳格さの入力は、例えば、考慮されるハザードの年間発生頻度を減らすことによって、施設に対する安全要件に従った設計段階で採用されてもよい。
  - 本安全指針で推奨されているデータベース及び方法が過度に複雑で、議論されている原子炉等施設にとって時間と労力がかかりすぎると判明した場合、より限定的なデー

---

<sup>44</sup> 異なる種類の原子炉等施設が位置する立地地点については、等級別扱いを使用するために特別な考慮が払われるべきである。

タセットに基づいて、気象学的及び水文学的なハザードの評価のための単純化された方法が使用できる。そのような場合、これらの施設を設計するために最終的に採用される入力パラメータは、これらの因子の両方が不確かさを増加させる傾向がある事実を考慮して、限定されたデータベース及び方法の単純化に見合ったものとすべきである。

## 11. ハザード評価に対するマネジメントシステム

### プロジェクト組織の特別な側面

11.1. 本章では、気象学的及び水文学的なハザードの評価の (a) 準備 (b) 実行 及び (c) 結果の報告に関する推奨事項と手引きを提供する。

11.2. プロジェクト計画は、気象学的及び水文学的なハザードの評価のためのプロジェクトを遂行する前に作成され、その遂行の基礎として使用されるべきである。プロジェクト計画は、適用される規制要件を含むプロジェクトの一般的要件一式を示すべきである。この文書は、気象学的及び水文学的なハザードの評価についての検討の前に、規制機関によって審査されるべきである。そのような一般的要件に加え、気象学的及び水文学的なハザードの評価に対するプロジェクト計画には、要員とその責任、プロジェクト業務の詳細な記述、スケジュールとマイルストーン及び成果物と報告書といった特定の要素を含めるべきである。

11.3. 本安全指針の範囲内に含まれるデータ収集及びデータ処理、野外及び実験室での調査並びに解析及び評価のための全ての活動を網羅するマネジメントシステムのプログラムが確立され、実行されるべきである。野外試料の位置は標準座標系が参照されるべきである。マネジメントシステムに関するさらなる推奨事項と手引きについては、参考文献[12]及び[13]を参照。

11.4. 気象学的及び水文学的なハザードの評価結果には、プロジェクト計画で示された全ての成果を含めるべきである。添付資料 I では、全ての申請で報告されるべき典型的な結果、並びに研究主催者が要求する可能性のあるその他の事項を示している。気象学的及び水文学的なハザードの評価の報告は、作業計画で十分詳細に規定されるべきである。

11.5. ハザード評価を利用者、ピアレビューの担当者、許認可取得者及び規制機関にとって追跡可能かつ透明性のあるものとするために、気象学的及び水文学的なハザードの評価の文書は、次の事項を提供すべきである。これらは、気象学的及び水文学的なハザードの評価に対するプロセスの全要素の説明、研究参加者とそれぞれの役割の特定並びに生データと処理データ、コンピュータソフトウェアと入出力ファイル、参考文献、中間計算の結果及び感度解析を含む解析を構成する背景資料、である。

11.6. この資料は、研究の主催者によって、利用可能で、使用に適した、かつ監査可能な形で維持されるべきである。他の場所で容易に利用可能な資料又は参照は、適切な箇所引用されるべきである。気象学的及び水文学的なハザードの評価のあらゆる要素が文書で取り扱われるべきである。

11.7. 文書には、入手が困難な可能性のある重要な引用をどこで見出すべきかに関する情



報を含み、気象学的及び水文学的なハザードの評価で使用した全ての情報源を特定すべきである。解析で使用される未公表のデータは、適切で、入手可能で、かつ使用に適した形で文書に含まれるべきである。

11.8. 気象学的及び水文学的なハザードの評価に関する文書は、使用されたコンピュータソフトウェアを特定すべきである。これには、関連する入出力ファイルとともに、データ処理に使用されたプログラム並びに気象学的及び水文学的なハザードの評価のための計算を実施するために使用されたプログラムを含めるべきである。

11.9. 同じ区域を対象とした気象学的及び水文学的なハザードの評価に対する早期の研究が利用可能な場合、異なるアプローチ又は異なるデータの使用が結論にどのように影響するかを実証するために比較が行われるべきである。その比較は、それらの見直しを可能とする方法で文書化されるべきである。

11.10. 多様な調査（野外、実験室及び事務所において）が実施され、かつ意思決定プロセスにおいて専門家の判断を使用する必要がある。タスクの遂行と検証を容易にするためにプロジェクトに固有の技術的手順が策定されるべきであり、また、プロセスのピアレビューが行われるべきである。

11.11. 施設の全体的なマネジメントシステムプログラムの一部として、本安全指針の範囲内に含まれる、データ収集及びデータ処理、野外及び実験室での調査並びに解析及び評価に対する全ての活動を網羅するプロジェクト品質管理プログラムが策定され、実行されるべきである。

11.12. 公式なマネジメントシステムプログラムの実行に対する要件は、研究の主催者によって定められるべきである。研究主催者は満たされるべき品質管理の標準を特定することになる。マネジメントシステムに関する適用可能な要件と推奨事項は、参考文献[12]及び[13]で定められている。文書管理、解析の管理、ソフトウェア、検証及び妥当性確認、調達及び監査並びに不適合及び是正措置に対処するための特別な方策が規定されるべきである。

11.13. 具体的には、プロジェクト計画は、プロジェクトの潜在的に相反するニーズのバランスをとるための基礎に関するデータを含む、気象学的及び水文学的なハザードの評価を行うために、及び／又は専門家の要請に対応するために重要である可能性のある新しいデータを収集する方策を記述すべきである。

## 工学的用途及び成果の仕様

11.14. 気象学的及び水文学的なハザードの評価に対するプロジェクト計画は、研究結果の意図された工学的用途と目的を特定すべきである。また、特定された一般的な要件に加え、研究の意図された工学的用途と目的を満たすために必要な全ての特定の結果を説明する気象学的及び水文学的なハザードの評価に対する成果の仕様を組み込むべきである。気象学的及び水文学的なハザードの評価に対する成果の仕様は、可能な範囲で包括的なものとすべきである。しかし、成果の仕様は、追加の結果に対応するために、結果の規定を増やすために、及び／又は結果の範囲を縮小するために、必要に応じて更新される場合がある。

## 独立ピアレビュー

11.15. 気象学的及び水文学的なハザードの評価に対する研究は複雑なため、独立したピアレビューが行われるべきである。ピアレビューの担当者は気象学的及び水文学的なハザードの評価に対する研究の他の側面に関与しているべきではなく、成果に利害関係を有すべきではない。ピアレビューの程度と種類は気象学的及び水文学的なハザードの評価の用途によって異なることがある。ピアレビューは、気象学的及び水文学的なハザード評価のプロセス、全ての技術的要素及び文書化を含む、気象学的及び水文学的なハザードの評価の全ての部分を対象とすべきである。ピアレビューの委員団には、研究の全ての技術的側面及びプロセスに関連する側面に対処するために必要な多分野の学識経験者を含めるべきである。

11.16. ピアレビューの目的は、気象学的及び水文学的なハザードの評価を行うために適切なプロセスが使用されていること、解析が認識上の不確かさに対処して評価していること、及び文書が完全で追跡可能であることの保証を提供することである。

11.17. ピアレビューには2つの方法を使用することができる。これは、(1)参加型と(2)後期フォローアップ型である。参加型のピアレビューは研究の過程で実施され、レビュー担当者は気象学的及び水文学的なハザードの評価プロセスが進展し技術的問題が発生した際、コメントを解決することができる。後期フォローアップ型のピアレビューは、評価研究の終了に向けて実施される。参加型のピアレビューを行うことで、後期段階で研究が拒否される可能性を低減することになる。

## 参考文献

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-3, IAEA, Vienna (2003).
- [2] [INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.1, IAEA, Vienna (2002).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.2, IAEA, Vienna (2002).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-9, IAEA, Vienna (2010).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.6, IAEA, Vienna (2004).
- [6] EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna (2006).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection (2007 Edition), IAEA, Vienna (2007).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-21, IAEA, Vienna (2011).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-1, IAEA, Vienna (2000).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.5, IAEA, Vienna (2003).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series, No. NS-G-2.10, IAEA, Vienna (2003).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, IAEA, Vienna (2006).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).

## 添付資料 I

### 気象変数に対する設計基準パラメータを定義する判断基準の例

I-1. 次の表は、ある加盟国（アメリカ合衆国）での慣行から引用された所与の気象変数に対する設計基準パラメータを定義する判断基準の例を示す。これらの気象学的設計基準パラメータは、構築物、系統及び機器を設計するための種々の荷重の組合せ及び種々の荷重係数を有する設計コードにおいて関連付けられる単一荷重ケースに対応する。各国での慣行に従い、必要に応じて、そしてこの種のハザードに対する所与の一貫性のある統合された枠組みの範囲内で、パラメータと判断基準の代替定義を使用してもよい。

I-2 表 I-1 では、竜巻に対する最大風速の再現期間はアメリカ合衆国における慣行に対応している。他の加盟国での適用に対しては、この判断基準は、対応する特定の規制要件及び特定の安全目標に照らして、また、他の外的ハザードの定義とのバランスを考慮して、慎重に見直す必要がある。

表 I-1. 特定の加盟国における慣行から引用された所与の気象変数に対する設計基準パラメータを定義する判断基準の例

表 I-1. 特定の加盟国における慣行から引用された所与の気象変数に対する設計基準パラメータを定義する判断基準の例

立地地点パラメータ	判断基準	定義
<i>気温</i>		
乾球温度の最高値及びその際の湿球温度	年超過頻度 1%(2%) <sup>a</sup>	年間の 1%(2%)の時間において超過することになる乾球温度及びその際の平均湿球温度 <sup>b</sup> 。これらのパラメータは空調などの冷却に対して使用される。
	再現期間 100 年	年超過頻度が 1%(平均再現期間 100 年)となる乾球温度の最高値及びその際に予想される湿球温度。これらのパラメータは連続運転及び保守性を確実なものとするために設備の運転設計に対して要求される場合がある。
湿球温度単独の最高値	年超過頻度 1%(2%)	年間の 1%(2%)の時間において超過することになる湿球温度。このパラメータは冷却塔、蒸発冷却器及び外気換気系に有用である。
	再現期間 100 年	年超過頻度が 1%(平均再現期間 100 年)となる湿球温度の最高値。このパラメータは冷却塔、蒸発冷却器及び外気換気系に有用である。

表 I-1. 特定の加盟国における慣行から引用された所与の気象変数に対する設計基準パラメータを定義する判断基準の例  
(続き)

立地地点のパラメータ	判断基準	定義
乾球温度の最低値	年超過頻度 98% (99%)	年間の 98% (99%) の時間において超過することになる乾球温度。このパラメータは加熱設備の大きさの決定に使用される。
	再現期間 100 年	年超過頻度が 1% (平均再現期間 100 年) となる乾球温度の最低値。このパラメータは連続運転及び保守性を確実なものとするために設備の運転設計に対して要求される場合がある。
<i>最終ヒートシンク<sup>c</sup></i>		
任意の 1 日 (5 日) の間に最低の水冷却をもたらす気象条件	過去に発生した最悪の事例	過去に観測された最悪の 1 日 (5 日) の湿球温度の日平均とその際の乾球温度。これらのパラメータは安全関連設備の設計基準温度を超えないことを確実なものとするために使用される。
連続する 30 日間に最大の蒸発量と飛沫損失を生じる気象条件	過去に発生した最悪の事例	過去に観測された最悪の 30 日間の湿球温度の日平均とその際の乾球温度。これらのパラメータは 30 日間の冷却の供給が利用可能であることを確実なものとするために使用される。
<i>風速<sup>d</sup></i>		
3 秒瞬間風速	再現期間 100 年	年超過頻度が 1% (平均再現期間 100 年) となる地上 10 m での 3 秒瞬間風速。このパラメータは風荷重を特定するために使用される。

表 I-1. 特定の加盟国における慣行から引用された所与の気象変数に対する設計基準パラメータを定義する判断基準の例(続き)

立地地点のパラメータ	判断基準	定義
<i>降水量(液体当量)</i>		
局地的豪雨	想定可能な最大降水量	指定された継続時間と地表面積に対する想定可能な最大降水量。このパラメータは排水系及び洪水の評価に使用される。
	再現期間 100 年	指定された継続時間と地表面積に対する年超過頻度が 1%(平均再現期間 100 年)となる降雨量。このパラメータは排水系及び洪水の評価に使用される。
<i>積雪</i>		
地表積雪重量	再現期間 100 年	地上における再現期間 100 年の積雪重量。このパラメータは屋根に対する設計雪荷重を決定するために使用される。
<i>着氷性の降水(アイスストーム)</i>		
氷厚とその際の風速	再現期間 100 年	雨氷による再現期間 100 年の氷厚とその際の 3 秒瞬間風速。これらのパラメータは格子状の構造物、支線付きの塔、架空線など氷の影響を受けやすい構造物の設計に使用される。
<i>落雷</i>		
落雷の頻度	年あたりの落雷数	計画される施設に年間に落ちると予測される稲妻の数。このパラメータは雷防護システムの設計に使用される。

表 I-1. 特定の加盟国における慣行から引用された所与の気象変数に対する設計基準パラメータを定義する判断基準の例(続き)

立地地点のパラメータ	判断基準	定義
		<b>竜巻</b>
最大風速	再現期間 10,000,000 年	年超過頻度が 0.01% (平均再現期間 10,000 年) となる竜巻の通過により生じる最大風速。このパラメータは竜巻の通過による風荷重を特定するために使用される。
気圧低下	再現期間 10,000,000 年	最大風速竜巻の通過により生じる気圧の通常の大気圧からの低下。このパラメータは竜巻の通過による大気圧の低下に耐える気密建造物の能力を評価するために使用される。
気圧低下率	再現期間 10,000,000 年	最大風速竜巻の通過により生じる気圧低下率。このパラメータは竜巻の通過により生じる大気圧の低下に耐える空調建造物の能力を評価するために使用される。
大型の竜巻飛来物	再現期間 10,000,000 年	最大風速竜巻の通過により生じる衝撃で変形する大型の高運動エネルギー飛来物 (例えば、自動車) の質量と速度。このパラメータは大きな破損に対する竜巻障壁の耐性を試すものである。



表 I-1. 特定の加盟国における慣行から引用された所与の気象変数に対する設計基準パラメータを定義する判断基準の例  
(続き)

立地地点のパラメータ	判断基準	定義
剛体の竜巻飛来物	再現期間 10,000,000 年	最大風速竜巻の通過により生じる剛体飛来物(例えば、スケジュール 40 の肉厚を持つ直径 15 cm の鋼管)の質量と速度。このパラメータは飛来物の貫通に対する竜巻障壁の耐性を試すものである。
小型の剛体竜巻飛来物	再現期間 10,000,000 年	最大風速竜巻の通過により生じる小型の剛体飛来物(例えば、2.5 cm の中実鋼球)の質量と速度。このパラメータは竜巻障壁の開口部の構成を試すものである。

- <sup>a</sup> 気温に対する年超過頻度のレベルは、典型的には原子炉供給業者から提供される技術仕様書で指定される。
- <sup>b</sup> 気温が特定の値の上か下に留まる時間(すなわち、持続性)の推定もプラント設計に必要な場合がある。
- <sup>c</sup> ここで示される最終ヒートシンクに対する立地地点のパラメータは湿式冷却塔に適用できる。冷水池及び噴水池のような他の種類の最終ヒートシンクには、異なる組合せの制御パラメータが適切な場合がある。
- <sup>d</sup> 熱帯低気圧の発生に影響を受けやすい立地地点に対しては、これらの現象は立地地点のパラメータで考慮されるべきである。
- <sup>e</sup> 地上における積雪重量は、適用される設計屋根荷重を決定するために適切な暴露係数及び温度係数を使用して屋根荷重に変換されるべきである。

## 添付資料 II

### 津波ハザードの評価：加盟国における現在の慣行

#### 日本

II-1. 本添付資料では、(1) 2002年2月に土木学会が発行した「原子力発電所の津波評価技術」[II-1] 及び(2) 気象庁が運用する津波の監視及び警報のためのシステムの概要を示す。この方法の利用に関する他の重要な参考文献は[II-2-II-10]である。

#### 日本における原子力発電所の津波評価方法

##### 全体的な方針

II-2. 日本における原子力発電所の津波評価方法の全体的方針は以下の通りである。

##### 設計津波に対する津波波源

II-3. 各地域に対してさまざまな起こりうる想定津波の中から、評価地点に最大の水位上昇と水位下降を引き起こす津波を「設計津波」として選定しなければならない。設計津波水位は設計津波の水位と適切な潮位条件の和として定義される。

##### 想定津波の不確かさの考慮

II-4. 津波波源に関するモデルの不確かさを考慮するため、合理的範囲内で断層モデルの諸条件を変化させ、多数の数値計算を実施しなければならない。これは「パラメータスタディ」と呼ばれる。パラメータスタディの各々の結果を「想定津波」と呼ぶ。評価地点のモデル化のため、評価地点に最大の被害を与える想定津波を選定しなければならない。

##### 設計津波を検証する方法

II-5. 設計津波は次の判断基準を使用して検証する必要がある。

- 設計津波高は評価地点で記録された及び計算された全ての既往津波の痕跡高を上回るべきである。
- 評価地点付近において、想定津波群の津波高は記録された及び計算された全ての既往津波の痕跡高を上回るべきである。

##### 既往津波に基づき評価手順を検証する方法

II-6. 前述の手順を実施する前に、既往津波記録の再現性を確認することにより数値計算システムを検証しなければならない。

##### 津波評価に対するプロセスフロー

II-7. 評価は全体的方針に従って実施される。評価のための手順は、図 II-1 に示されるように、第1部は「既往津波に基づく断層モデルと数値計算システムの検証」、第2部は、

「基準津波に関する「パラメータスタディ」に基づく設計最高津波水位と設計最低津波水位の推定」から構成される。手順の各ステップについて以下で説明する。

## 既往津波の調査

II-8. 最初のステップは、評価地点に影響を与える主要な既往津波についての文献調査の実施であり、その上で記録された津波高の妥当性を調べる必要がある。その結果に基づいて、既往津波に対する数値シミュレーションのための断層モデルを設定することができる。既往津波に対する断層モデルを設定した後、数値計算を実行する。次に、数値計算の信頼性を調べる。結果が条件を満たす場合は、第2部を開始することができる。結果が条件を満たさない場合は、表現の改善のために断層モデル又は計算条件を修正すべきであり、数値計算を再度実行すべきである。

## 津波波源と基準断層モデルの選定

II-9. このプロセスの第2部における最初のステップは、津波波源の選定である。一般に、近地津波の影響は、遠地津波の影響より大きい。しかし、その影響は地理的条件と津波波源に対する方向関係に依存するため、遠地津波の影響を無視することはできない。日本では、近地津波に対する主要な地震震源域はプレート境界（千島海溝、日本海溝及び南海トラフ）、日本海（東海）<sup>45</sup>東縁部及び日本列島周辺の海底活断層であり、遠地津波に対しては南米大陸の西海岸沖である。

II-10. 次に、想定される地震に対する基準断層モデルを決定しなければならない。これらの基準断層モデルは、評価地点に対するパラメトリックな津波評価の基礎を提供することになり（図 II-2 を参照）、これらの基準断層モデルは各海域の特性を考慮して適切に決定しなければならない。したがって、基準断層モデルのパラメータは、既往の津波遡上高を再現するために慎重に決定する必要がある。

## 想定される地震

II-11. 想定される地震に対するモデルを設定する際、基準断層モデルは各地域で記録された既往津波の痕跡高を再現するために設定される。このプロセスでは、過去に発生した地震及び/又は津波の発生メカニズム並びにプレート境界面の形状、プレートの相対運動、活断層の分布などの地震地体構造が考慮されるべきである。

## パラメータスタディ

II-12. 津波波源のパラメータスタディの概念が図 II-2 に示される。上の図は想定される地震に対する断層モデルを示している。点線の長方形がそれぞれ断層モデルを表している。下の図では、各曲線は各断層モデルに基づき計算された想定津波を表している。

---

<sup>45</sup> 国連事務局の慣行は、国際的に合意された基準がない場合には、最も広く一般的に認知された呼称を用いることである。この慣行は、特定の呼称に関するいかなる国連加盟国の見解も損なうものではなく、国連事務局のいかなる意見の表明を意味するものでもない。この慣行に基づく事務局による呼称の使用は、利害当事者間のいかなる交渉又は合意も損なうものではなく、いかなる当事者の見解を擁護もしくは是認するものと解釈されるべきではない。また、いかなる当事者によってもこの問題に関する特定の見解を支持するものとして援用することはできない。

## 設計津波の選定

II-13. 最高及び/又は最低の基準津波が設計津波として選定される。設計に使用する場合は、沿岸に立地する原子力発電所の安全を確実なものとするために、設計津波は立地地点における既往の及び可能性のある全ての津波の中で最も高いものでなければならない（図 II-2）。最高水位まで上昇する津波波源と最低水位まで低下する津波波源は時に異なることに注意しなければならない。

## 検証

II-14. 設計津波の検証のため、II-20 項の 2 つの条件を確認する必要がある。検証の概念は図 II-2 の下の図に示されている。

## 他の水位変化との組合せ

II-15. 設計津波の検証を確認した後、潮汐などの他の水位変化が適切に考慮される必要がある。数値計算が平均潮位に基づいて実行される場合、朔望平均満潮位及び/又は朔望平均干潮位をそれぞれ津波の高水位及び/又は低水位と組み合わせなければならない。

## 津波に関連するその他の現象の評価

II-16. 津波の卓越周期と港及び/又は取水経路の自由振動の固有周期が等しい場合、水の上昇と下降が増幅される場合がある。数値シミュレーションにおける共振の影響を調べる必要がある。

II-17. 砂質堆積物の移動、隣接する河川からの浸水、断層運動による地盤の隆起及び/又は沈降など、他の関連する現象は固有の立地条件に基づいて評価されている。

## 不確かさの考慮

II-18. 津波波源モデルの不確かさ、数値計算の誤差、海底地形と海岸の陸地形状に関するデータの誤差など、津波評価プロセスには不確かさと誤差が含まれる。設計津波の水位が過小評価されないようにするため、これらの不確かさと誤差を考慮しなければならない。

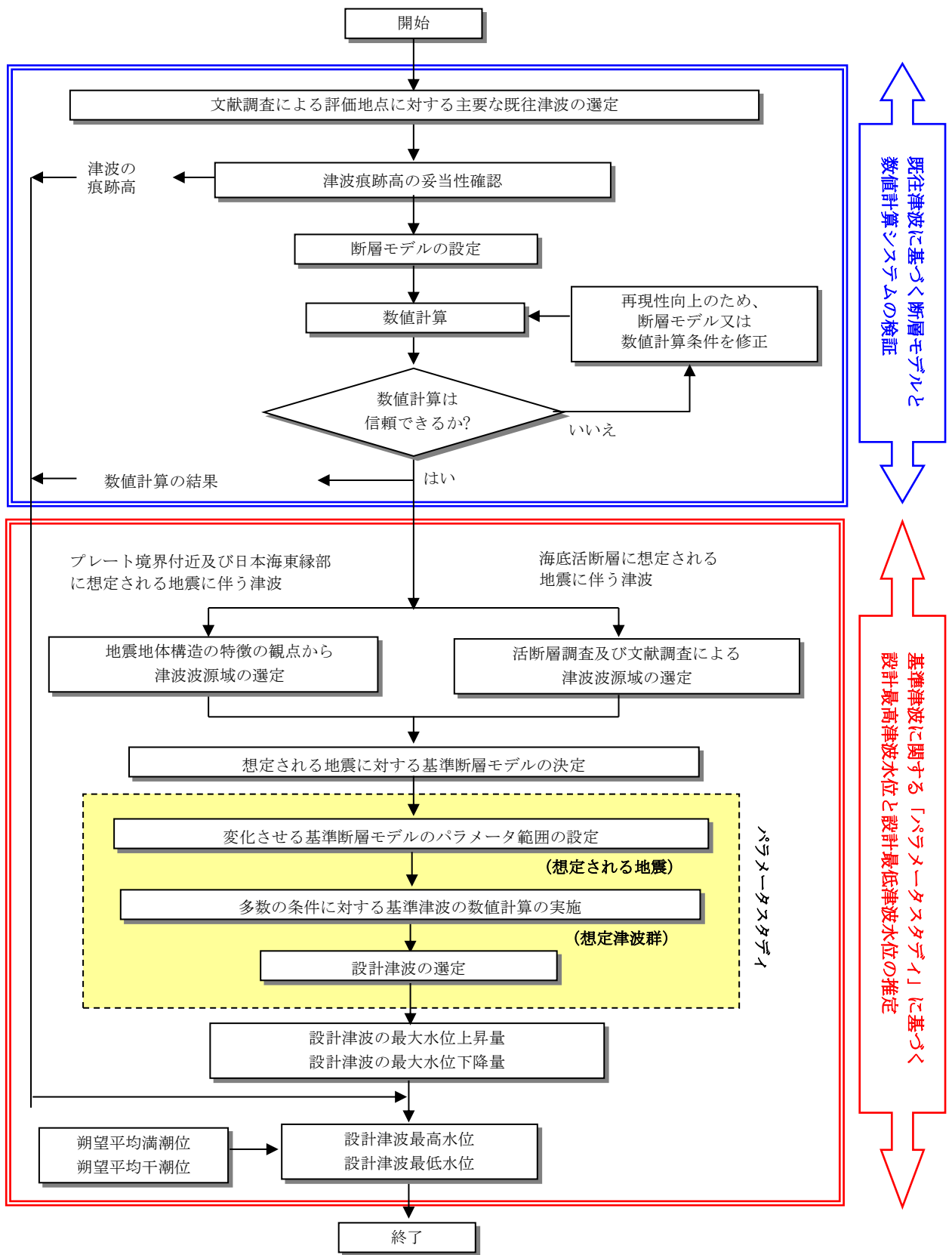
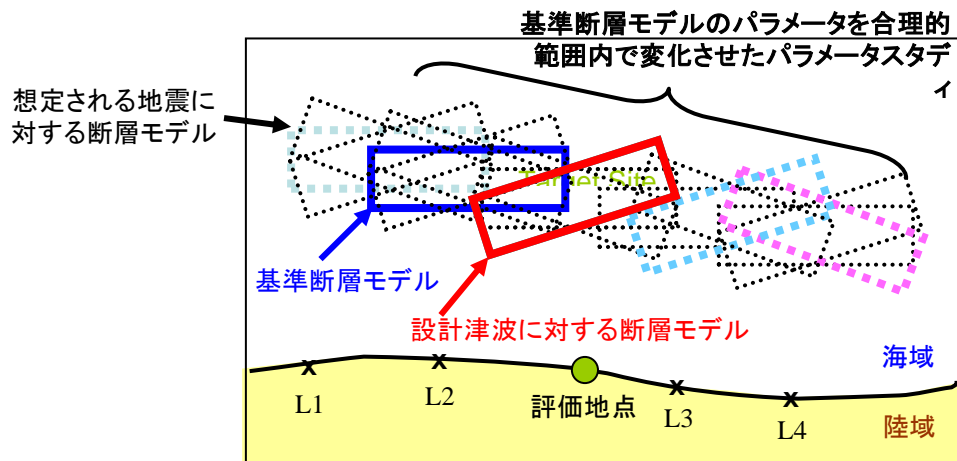


図 II-1. 設計津波に対する評価プロセスのフローチャート



発生源の平面図

設計津波は評価地点での  
想定津波の中で最も高いもの

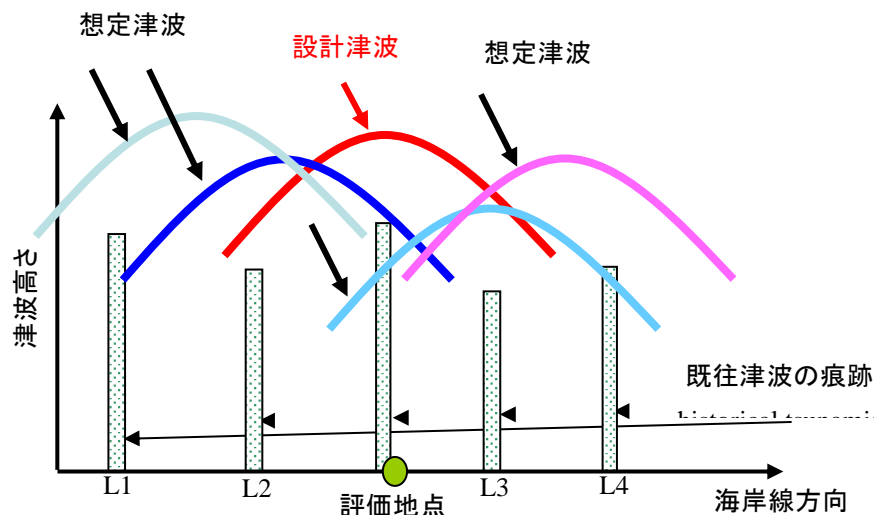


図 II-2. 原因断層の設定とパラメータスタディの概念

II-19. 各パラメータを定量的に推定することはかなり難しい。したがって、土木学会の津波評価方法においては、次の手順が採用されている。

- 合理的範囲内で諸条件を変化させた想定される地震を基準断層モデルを基に設定する。
- 想定される地震の津波波源パラメータの不確かさを考慮して多数の数値計算を実行する。
- 設計に対しては、評価地点において最大水位上昇量と最大水位下降量を生じる津波を想定津波群の中から選定する。

II-20. パラメータスタディを用いて評価された設計津波高は、全ての既往津波の痕跡高を十分に上回るものでなければならない。その妥当性を確認するために、次の2つの条件が満たされることを確実なものとする必要がある。

- (a) 評価地点において、設計津波高は既往津波の再現計算による全ての津波高を上回らなければならない。
- (b) 評価地点付近において、想定津波群の計算結果の包絡線は、記録された全ての既往津波の痕跡高を上回らなければならない。

土木学会の方法を原子力発電所立地地点に適用した結果に基づき、この方法で求められた設計津波高は、平均的には記録された既往津波の痕跡高の2倍となっていることが確認された。

## 津波の監視及び警報のためのシステム

II-21. 津波発生時にそれを監視するための、及び早期警報を発表するためのシステムは、気象庁の責任下にある。産業施設へのその実用は、主に陸上設置の地震計観測網のデータ及び津波予測のための計算のデータベースによる。近年、沖合設置の地震計と津波計の配備が進んでおり、近地津波の発生の早期検知及び信頼度の高い津波警報の発表のための努力が進められている。

II-22. 沖合設置の津波計には2種類ある。1つは観測ブイ型（衛星に接続される全地球測位システムを備えた津波計）で、もう1つは海底ケーブル型である。後者では、陸上設置の地震計観測網と組み合わせることにより警報システムの利用が進められている。ケーブル型の地震計及び津波計は、日本の太平洋沖のプレート境界地震に対する7つの重点地域に配備されている。特に、2008年10月に警報システムに追加された、気象庁の全長210kmの東海/東南海のケーブル型システムは、予想される巨大プレート境界地震の震源域に位置しており、津波の早期警報に役立つものと期待されている。

## アメリカ合衆国

II-23. 原子力規制委員会（NRC）は、津波のハザード及びリスクの評価に関する規則の下で、津波に関連する現象と津波に類する現象を考慮し、評価している。NRCは、津波のハザード及びリスクの評価を実施するため、階層的な枠組みと、様々な発生源の種類それぞれに適した多様な技術的アプローチを使用している。現在、津波に関するNRCの指針には、可能最大津波の評価に基づく決定論的アプローチが含まれる。許認可申請の審査において現在NRCスタッフにより使用されているアプローチについて説明する。

II-24. NRCは同委員会全体でリスク情報を活用したアプローチ及び指針に向けて動いている。許認可取得者は確率論的アプローチを審査のための基礎として提案することができる。米国における最近の慣行では、太平洋沿岸での津波ハザードを決定するために確率論的アプローチを使用している。津波ハザードの評価のための確率論的方法は、NRC内で積極的に研究されている分野であり、現在は太平洋沿岸で実施可能である。現在のところ、米国の大西洋岸とメキシコ湾岸に影響を与える可能性のある津波発生源の活動率に関する情報が不足しているため、確率論的方法の実用的な使用が妨げられている。

## 規則と規制指針

II-25. 米国連邦規則（CFR）に定められている津波ハザードの評価に関連するNRC規則には次のものが含まれる。

- (1) 10 CFR Part 100 [II-4]は、立地地点の水文学的特徴の特定と評価に関連する。新規の申請に対して、立地評価において物理的な立地特性を考慮するための要件が 10 CFR 100.20(c)で規定されている。
- (2) 10 CFR 100.23(d)は、立地地点における地震による洪水と水の波に関する発電所の設計基準に対する立地要因を決定するための判断基準を設定している。
- (3) 建設許可と運転認可の申請に関する 10 CFR Part 50 付則 A、一般設計指針(GDC) 2 [II-5]。これは、限定された精度と限られた量の既往データ及び限定された蓄積期間を考慮するのに十分な余裕をもたせた、立地地点及び周辺区域で過去に報告された最も過酷な自然現象の考慮に関連する。
- (4) 早期立地許可の申請についての 10 CFR 52.17(a)(1)(vi)及び建設・運転一括許可の申請についての 10 CFR 52.79, [II-6]。これらは、立地地点の水文学的特性の特定に関連する。これには限定された精度と限られた量の既往データ及び限定された蓄積期間を考慮するのに十分な余裕をもたせた、立地地点及び周辺区域で過去に報告された最も過酷な自然現象の適切な考慮が含まれる。

II-26. 規制指針 1.59 [II-7]は、洪水の発生源としての津波について簡単に議論している。この規制指針は更新される予定である。しかし、この指針の改訂には津波に起因する洪水は含まれない予定である。NRC スタッフは、津波に対するハザード評価とリスクに焦点をあてた新しい規制指針を作成する予定である。

II-27. NRC の標準審査指針 NUREG 0800 [II-8]の 2.4.6 項は、NRC スタッフによって現在使用されている津波ハザードに対する審査手順と許容基準を記している。

II-28. 米国海洋大気庁 (NOAA) は、米国連邦政府の津波シミュレーションモデルに対する精度基準の策定及び米国津波災害低減プログラムを支援する研究の実施に対する責任を負っている。2007 年、NOAA は米国における津波ハザード評価に関する報告書[II-9]を NRC に提出した。この報告書は、NUREG/CR-6966 とともに審査に対する現行の NRC アプローチの基礎となっている。

II-29. 2006 年、NRC は長期的な津波研究プログラムを開始した。米国地質調査所 (USGS) と NOAA との共同作業を含むこのプログラムは、米国における新規原子力発電所の許認可に関する活動を支援すること及び新しい規制指針の策定を支援することの両方を目的として設計された。以下の項で説明されるように、追加の補足資料が利用可能である。

## 階層的アプローチの適用

II-30. NRC スタッフが容認できるハザードの評価に対する階層的アプローチは NUREG/CR-6966 [II-10]に記載されている。この文書で特に言及されているように、ハザード評価の階層的アプローチは、特定の現象から生じるハザードを評価するために使用される一連の段階的な、漸進的に精緻化される解析から構成される。津波ハザードの評価の場合、このアプローチは、次の質問に答える 3 つの段階によって定義される。

- (1) 立地地点地域は津波の対象となるか？
- (2) 発電所立地地点は津波の影響を受ける可能性があるか？
- (3) 発電所の安全にとって津波により引き起こされるリスクは何か？

II-31. 第 1 段階は本質的には地域の選別試験であり、津波又は津波のような効果を生じる可能性のある水体との近接度に基づいて立地地点をふるい落とすことができるかを決



定するために実施される。立地地点が位置する地域が津波を受けない場合は、津波ハザードに対するそれ以上の解析は必要ない。この判断はその地域に固有の証拠によって裏付けられる必要がある。そのような判断を確証的に示すことができない場合は、第2段階が必要である。

II-32. 第2段階は立地地点の選別試験と見なすことができる。この段階では、安全上重要な発電所システムが津波に起因する危険性に曝されるかを決定する。立地地点固有の遡上高の計算を含む立地地点固有のハザード評価を実施するために使用される方法は、本添付資料で後述されている。立地地点の地域全般が津波ハザードの対象になるとしても、全ての安全関連の発電所システムが計算された最大遡上高を上回る標高に位置していると判断できる場合がある。

II-33. 第3段階は、安全上重要な構築物、系統及び機器の標高が、計算された津波遡上高を上回ることが確証的に示すことができない場合に施設に生じる可能性があるリスクの評価である。この段階には最も精緻で複雑な解析が必要である。

## NRC スタッフによる審査の分野

II-34. NRC スタッフは以下に要約される技術的分野を審査する。これらの審査分野は、NRC の標準審査指針 (NUREG-0800) [II-8]の最新版で詳細に記載されており、NRC のオンライン「閲覧室」でダウンロードすることができる。

- (1) **既往の津波データ.** スタッフは、古代の津波データを含む既往の津波データを審査する。既往データは発生頻度及び観測された最大遡上高などの他の有益な指標を確立するのに役立つ場合がある。NOAA の国立地球物理データセンターは、米国政府のために津波モデル化と津波関連工学を支援するために津波の波源と影響に関する情報を収集して保管しており、重要なデータ源として使用されている。大洋を横断する津波に曝された発電所に関連する国際的な情報源も調査する必要がある。
- (2) **可能最大津波.** 現在、NRC スタッフは、規制指針 1.59 [II-7]に記載されるとおり、可能最大津波の決定論的評価に基づいて申請の妥当性を審査している。スタッフは、発生機構の特定、これらの発生機構の特性及び候補発電所立地地点に向かって伝播する波のシミュレーションに関して、可能最大津波を審査する。津波発生源の議論は、本添付資料の後段で提示する。
- (3) **津波伝播モデル.** スタッフは、ハザード解析に使用された計算モデルを審査する。津波モデル化の要素は、本添付資料の後段で詳細に説明される。
- (4) **波の遡上、浸水及び水位低下.** スタッフは可能最大津波によって引き起こされる遡上を審査する。津波の波が到来する前の対象水体に対する適切な初期水位は、ANSI/ANS-2.8-1992 [II-11]において高潮及び静振に対して推奨される水位と同様であると仮定される必要がある。例えば、海岸の立地地点における最高津波遡上高を推定するためには、立地地点付近の初期水位として満潮位の 90 パーセントイルが使用される必要がある。後退する津波の波によって引き起こされる最低水位低下を推定するためには、干潮位の 10 パーセントイルが使用されなければならない。評価によって示されたいかなる浸水も、発電所の洪水に対する設計基準に考慮されなければならない。いくつかの安全関連の構築物、系統及び機器に対する洪水防護を必要とする場合がある。スタッフは安全関連の取水口が発電所設計に使用され、それらが津波の影響を受ける場合には、津波の波により引き起こされる水位低下とそれらが安全関連取水口にいかに関与するかについても審査する。スタッフはまた、安全関連取水口が影響を受ける継続時間を推定するために水位低下の継続時間を審査する。水源が最終的な熱の

逃がし場の一部である場合、規制指針 1.27 [II-12]の推奨基準を適用する。津波の波によって引き起こされる浸水及び水位低下の範囲並びに継続時間が発電所の設計基準のために適切に設定されていることが実証されなければならない。

- (5) **静水力と流体力.** スタッフは津波の波によって引き起こされる安全関連の構築物、系統及び機器にかかる静水力と流体力を審査する。津波は一連の波として発生するため、波の前進と後退のサイクルが考慮されなければならない。局地的な形状及び水深は、安全関連の構築物、系統及び機器の設置場所付近の高さ、速度、運動量フラックスに大きく影響することがある。規制指針 1.27 [II-12]の推奨基準は、水源が水冷式の最終的な熱の逃がし場の一部である場合に適用する。津波の波によって引き起こされる潜在的な静水力と流体力が、発電所の設計基準のために適切に設定されていることが実証される必要がある。
- (6) **漂流物及び水による投射体.** スタッフは、津波の流れとともに運搬されている漂流物及び水による投射体の可能性並びにそれらが安全関連の構築物、系統及び機器に損傷を与える能力を審査する。規制指針 1.27 [II-12]の推奨基準は、水源が最終的な熱の逃がし場の一部である場合に適用する。安全関連の構築物、系統及び機器が漂流物及び水による投射体によって損傷を受けるあらゆる可能性が、発電所の設計基準のために適切に設定されていることが実証される必要がある。
- (7) **堆積物の侵食及び沈積の影響.** スタッフは、津波の際の堆積物の沈積並びに津波の際の高速の洪水及び波の作用によって引き起こされる浸食、また、それらが安全関連の構築物、系統及び機器の基礎に及ぼす影響について、それらが発電所の設計基準のために適切に設定されることを確実なものとするために審査する。堆積物のあらゆる潜在的な侵食及び沈積が、暴露される構築物、系統及び機器の安全関連の機能に影響していない。規制指針 1.27 [II-12]の推奨基準は、水源が最終的な熱の逃がし場の一部である場合に適用する。
- (8) **他の立地地点関連評価基準の考慮.** 10 CFR Part 100 [II-4]は、発電所申請に対する立地地点関連の近接性、耐震性及び非耐震性の評価基準を記載している。10 CFR Part 100 [II-4]の Subpart A は 1997 年 1 月 10 日より前の申請に対する要件を扱い、Subpart B は 1997 年 1 月 10 日以後の申請に対するものである。スタッフの審査には、これらの基準が最悪の津波シナリオの仮定において適切に使用されているかを決定するための関連情報の評価を含むことになる。

## 津波発生源の特性付け

II-35. 米国の海岸線沿いの津波ハザードは、地すべり及び地震を起源とする 2 つの主要な発生源の区分から生じる。これらの区分における発生源は、近地と遠地の両方に存在する。候補発電所の立地地点で可能最大津波を発生する可能性がある全ての発生源を決定するために、津波発生源の地域的な評価が実施される必要がある。評価で考慮される発生機構には、地震、海底及び陸上の地すべり並びに火山を含まなければならない。可能最大津波の指定に使用される発生源の特性は保守的でなければならない。

II-36. 地すべりの発生源は、海底マッピング又は過去に発生した地すべりの地質年代測定から決定される最大体積パラメータを使用して特性付けられる必要がある。候補地すべりの潜在的な津波の発生に関する効率を評価するために、斜面安定性解析が実施されなければならない。可能最大津波の評価で考慮される火山活動によって引き起こされる津波発生源の種類には、火砕流、海底カルデラの崩壊、爆発及び岩屑なだれ又は山腹崩壊を含めなければならない。

II-37. 新規原子炉に関する許認可活動を支援するために、NRC は長期的な津波研究

プログラムを開始した。このプログラムの一環として、USGS は大西洋とメキシコ湾における津波発生機構をまとめた報告書[II-13]を提供した。この報告書で詳述される発生源は、これらの水体の近くに位置する提案された立地地点に対する津波評価の出発点として NRC スタッフに使用されている。この分野での研究は継続しており、将来、追加の参考文献と発生源の特性付けが利用可能となる可能性がある。

## 津波に対するモデル化方法

II-38. 許認可プロセスの一環として、スタッフは津波ハザード解析に使用された計算モデルを審査する。査読された文献に掲載され、広範な試験によって検証された、NOAA で使用されているモデルのような津波伝播モデルが使用されなければならない。

II-39. スタッフは発生源から提案された立地地点に向かう可能最大津波の波の伝播を審査する。該当する場合、深海での可能最大津波の伝播をシミュレートするために、浅水波近似が使用されなければならない。浅水における可能最大津波の波の伝播シミュレーションは、浅水波近似が有効でない場合は、非線形波動力学を含むアプローチを使用して実施されなければならない。

II-40. スタッフは、立地地点へ向かう可能最大津波の波の伝播をシミュレートするために使用されたモデルパラメータと入力データを審査する。モデルパラメータが記述されなければならない、また、保守的な値が選択されなければならない。モデルの入力に使用された他の全てのデータが記述されなければならない、また、それぞれの情報源に言及する必要がある。通常、米国の立地地点には、NOAA 国立地球物理データセンター[II-14]、UAGS 及び米国陸軍工兵隊が保管し、維持している深淺測量と地形のデータで十分である。しかし、立地地点によっては追加データが必要とされる場合がある。

II-41. NOAA は米国連邦政府の津波シミュレーションモデルに対する精度基準の策定及び米国津波災害低減プログラムを支援する研究の実施に責任を負っている。具体的には、NOAA は米国国際開発庁からの資金提供を受け、個人及び研究機関が震源モデル、ツール及び NOAA のデータを活用できるようにするインタフェースツールである津波コミュニティモデルインタフェース (ComMIT) [II-15]を開発した。このツールは、適切な訓練を受けた解析者が高品質の局所的な水深情報と併せて適用する場合、米国内外の多くの場所で津波ハザード解析を実施するために使用できる。このツールを使用するいかなる解析者も、最初に NOAA のウェブサイトを提供されているベンチマーク試験の問題を実施しなければならない。

II-42. NRC は、適切な場合には、ComMIT ツールを使用する意向であり、その慣行と指針を強化するために NOAA と引き続き協力することになる。地すべりに関連する津波発生源に対しては、代替の方法とツールが必要とされる。地すべりによる津波のモデル化に関する指針の策定が継続している。

## 添付資料 II の参考文献<sup>46</sup>

- [III-1] JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, Tsunami Assessment Method for Nuclear Power Plants in Japan, Technical Document (2002), [http://www.jsce.or.jp/committee/ceofnp/Tsunami/eng/JSCE\\_Tsunami\\_060519.pdf](http://www.jsce.or.jp/committee/ceofnp/Tsunami/eng/JSCE_Tsunami_060519.pdf)(in English)
- [III-2] YANAGISAWA, K., et al., Tsunami Assessment for Risk Management at Nuclear Power Facilities in Japan, Pure Appl. Geophys. **164** (2007) 565–576.
- [III-3] IMAMURA, F., ABE, I. History and challenge of tsunami warning system in Japan, J. Disas. Res. **4** 4 (2009).
- [III-4] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 10 CFR Part 100. Title 10, Energy, Part 100, Reactor Site Criteria, NRC, Washington, DC.
- [III-5] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 10 CFR Part 50. Code of Federal Regulations. Title 10, Energy, Part 50, Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities, NRC, Washington, DC.
- [III-6] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 10 CFR Part 52. Code of Federal Regulations. Title 10, Energy, Part 52, Early Site Permits; Standard Design Certifications; and Combined License for Nuclear Power Plants, NRC, Washington, DC (2010).
- [III-7] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Design Floods for Nuclear Power Plants, Regulatory Guide 1.59, NRC, Washington, DC (1977).
- [III-8] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants, LWR Edition, NUREG 0-800, Office of Nuclear Reactor Regulations, NRC, Washington, DC (2007).
- [III-9] GONZALEZ, F.I., et al, Scientific and Technical Issues in Tsunami Hazard Assessment of Nuclear Power Plant Sites, NOAA Technical Memorandum OAR PMEL-136, Pacific Marine Environmental Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA (2007).
- [III-10] PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY, Tsunami Hazard Assessment at Nuclear Power Plant Sites in the United States of America, Rep. NUREG/CR-6966, PNNL-17397 (2009) (available for download at the NRC reading room).
- [III-11] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE/AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, Determining Design Basis Flooding at Power Reactor Sites, ANSI/ANS-2.8-1992, New York, NY (1992) (not available at the NRC site).
- [III-12] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Ultimate Heat Sink for Nuclear PowerPlants, Regulatory Guide 1.27, Revision 2, NRC, Washington, DC (1976).
- [III-13] TEN BRINK, U.S., et al., Atlantic and Gulf of Mexico Tsunami Hazard Assessment Group, Evaluation of Tsunami Sources with the Potential to Impact the US Atlantic and Gulf Coasts: An Updated Report to the Nuclear Regulatory Commission, US Geological Survey Administrative Rep. ML082960196, Woods Hole, MA (2008).
- [III-14] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER, NOAA/WDC Historical Tsunami Database at the National Geophysical Data Center, [http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu\\_db.shtml](http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml)
- [III-15] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, Community Model Interface for Tsunami (ComMIT). Download and documentation available at: <http://nctr.pmel.noaa.gov/ComMIT>.

---

<sup>46</sup> 参考文献[II-4]–[II-15]は、ML アセンション番号(もし示されるのであれば)を用いて NRC ADAMS システムを通じてか、若しくは、NRC のオンライン閲覧ルームを通じて利用可能である。両方のシステムは、NRC のウェブサイト: <http://www.nrc.gov> を通じてアクセスできる。

## 添付資料 III

### 津波警報システム

政府間海洋学委員会の津波警報システムの管理

III-1. 国際連合教育科学文化機関の政府間海洋学委員会（IOC）は、津波の影響を受ける可能性がある全ての大洋及び海において、世界中の津波警報システムの活動を実行し、調整する権限が与えられている。システムの管理の主要な構成要素は以下の項で示されるものである。

III-2. IOC は、知識、情報及び技術の共有を通して、また、各国プログラムの調整を通して、各国政府が大洋と海岸に関連する問題に取り組むことを支援する。

III-3. 政府間調整グループは IOC の下部機関である。彼らは、適時の津波警報の発令を含む津波の減災のための地域的活動を促進し、組織化し、調整するために会合を行っている。これらのグループは地域の各加盟国の国内連絡窓口で構成される。現在、太平洋、インド洋、カリブ海及び隣接海域、北東大西洋並びに地中海及び隣接海域において、津波警戒・減災システムのための政府間調整グループがある。

III-4. 太平洋津波警戒・減災システムのための政府間調整グループは、2005 年の太平洋津波警報組織国際調整グループの第 20 回会合の決議 ITSU-XX.1 号によって改称された。現在、28 の加盟国が太平洋津波警戒・減災システムのための政府間調整グループに参加している。

III-5. インド洋津波警戒・減災システムのための政府間調整グループは、2005 年に第 23 回政府間海洋学委員会総会の決議 XXIII-12 号によって設立された。オーストラリアのパースにある政府間海洋学委員会地域プログラム事務所がインド洋津波警戒・減災システムの事務局となっている。現在、27 の加盟国がこのグループに参加している [III-1]。

III-6. カリブ海及び隣接海域における津波・その他沿岸災害警報システムのための政府間調整グループは、2005 年に第 23 回政府間海洋学委員会総会の決議 XXIII-14 号によって設立された。このグループは、主として広範なカリブ海地域の IOC 加盟国及び地域組織から構成される [III-1]。

III-7. 北東大西洋、地中海及び隣接海域における早期津波警報・減災システムのための政府間調整グループは、2005 年の第 23 回政府間海洋学委員会総会の決議 XXIII-13 号によって設立された。このグループは、主として北東大西洋に接する IOC 加盟国及び地中海若しくはその隣接海域に接するか、又はその内側にある加盟国から構成される [III-1]。

津波警報センター及び警報指針に関する全般的な考慮事項

III-8. 津波の監視システム及び警報システムの主な運営要素は次のとおりである。

- リアルタイム地震監視ネットワーク
- リアルタイム海面監視ネットワーク
- 津波警報・監視センターのネットワーク
- 地震警報センター

III-9. 大きな津波のほとんどは地震によって発生するため、津波が発生する可能性についての最初の情報は地震センター及び津波センターからのものである。地球規模及び地域規模の地震活動は、多数のグローバルネットワークによって世界中で監視されている。大部分の地震警報センターは大きな地震に関する情報メッセージを約 20 分以内に発信している。これらの通報又はメッセージは、インターネット又は他の電気通信手段を通じて発信される。

III-10. 津波警報センターは、津波に関する情報メッセージを適時に発表するセンターである。地域津波警報センターは、地球規模のデータネットワークを使用して、大洋規模の潜在的な津波を監視して、それらに関する津波関連情報を加盟国に提供する。それらはしばしば地震発生後 10～15 分以内にメッセージを発表する。地域津波警報センターの一例が太平洋津波警報センターであり、環太平洋地域の加盟国に国際的な津波警報を提供する。小規模地域の津波警報センターの例としては、日本の気象庁が運営する北西太平洋津波情報センター及び米国 NOAA 気象局が運営する西海岸・アラスカ津波警報センターがある。2005 年 4 月の津波以降、太平洋津波警報センターと日本の気象庁は、インド洋に対する暫定的な地域津波警報センターの役割を果たしている。2006 年以降、太平洋津波警報センターはカリブ海諸国のための暫定的な津波警報センターの役割も果たしている。局地的な津波警報センターは数分以内に到来する可能性のある局地的な津波を監視し、これに関する情報を提供する。局地的な津波警報センターは数分以内に警報を発令しなければならない。参考文献[III-2]は、利用者に運用指針を提供している。

III-11. 地域の警報・監視センターから提供される現行のメッセージは参考文献[III-3]で全般的に説明されている。メッセージは、情報、注意報又は警報のメッセージとすることができ、津波警報センターによって評価された利用可能な地震データ及び潮位データ又は津波警報センターが他の監視機関から受け取った評価に基づいている。メッセージは IOC 加盟国の正式に任命された緊急対応機関への気象報告である。警戒レベルは各海域の大きさ、形態及び地震地体構造特性のために、1つの海から別の大洋までさまざまとなる可能性がある。

III-12. 津波警報は、環太平洋地域における津波発生時の最高レベルの警戒情報である。破壊的な津波又は差し迫った津波の脅威が確認された後に、津波警報センターから警報が発表される。最初に、警報は、リスクのある住民に可能な限り最も早い警戒情報を提供する手段として、津波を確認しないうちに地震情報のみに基づいている。最初は、その地域の全沿岸区域に差し迫った洪水への備えが必要な状況にある、限られた区域に警報が発表される。その後、少なくとも 1 時間に 1 回又は必要な条件が発生すればその都度、警報を延長、範囲の限定又は解除するために文章による速報が発表される。津波が確認された場合には、震央から 1,000 km 以上の距離でも被害を引き起こす可能性があるため、警報はより広い範囲に拡大される場合がある。これらの警報メッセージには地震情報（地域、震央の座標、発生時刻及びマグニチュード）が含まれる。津波が確認された時には、波に関する情報（振幅、周期）が当該海域の沿岸への推定到達時刻とともに追加される。立地地点に最も近い予測地点への到達時刻により、立地地点における津波の第 1 波の概算到達時刻が与えられることになる。

III-13. 環太平洋地域以外の地域のための運用ユーザーズガイドは今後利用可能となる予定である。新版のガイドとメッセージが IOC 及び国際津波情報センターで利用可能になる予定である。

III-14. 潮位観測所は、潮位の高さ（上昇と下降）を測定するための検潮儀、潮位情報を

取得し、デジタル化し、デジタルで記録するためのデータ収集プラットフォーム、及び多くの場合、観測所から中央のデータ収集センターに送るための伝送システムなどの装置で構成される設備である。データ収集とデータ伝送に固有の要件は用途に依存する。

- 近地津波の監視には、リアルタイムで利用可能な1秒から1分の間隔で収集された一連のデータが必要である。
- 遠地津波については、警報センターはほぼリアルタイムで取得されたデータを使用して適切な警報を提供できる場合がある（1分から15分ごとに送信される1分間のサンプリングデータ）。
- WMOの全球通信システム又はブロードバンドグローバルエリアネットワーク（BGAN）といった種々の通信伝送システムが存在する。

検潮儀は、潮位、津波及び高潮の監視と記録のために装備される潮位観測所の最も一般的なセンサーである。

III-15. 潮位観測所の2番目の種類である津波計は、外洋における津波の早期検知、測定及びリアルタイム報告のための計器である。

### 添付資料 III の参考文献

- [III-1] INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION, Twenty-third Session of the Assembly, Paris, 21–30 June 2005, Reports of Governing and Major Subsidiary Bodies, No. 109, UNESCO, Paris (2005).
- [III-2] INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION, Operational User's Guide for the Pacific Tsunami Warning and Mitigation System (PTWS), Technical Series No. 87, UNESCO, Paris (2009).
- [III-3] INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION, Tsunami Glossary, Technical Series No. 85, UNESCO, Paris (2008).

## 添付資料 IV

### 気候変動

#### 気候変動に関する政府間パネルの評価報告書

IV-1. ほぼ全ての加盟国が、一般的には 20 世紀を対象とする、自国領土又はその一部における過去の気候変動の評価を作成している。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第 3 次 (2001 年) 及び第 4 次 (2007 年) の評価報告書は、WMO/世界気候研究計画/WMO-IOC 合同海洋・海上気象専門委員会の気候変動検出・指標専門家チームによって開発された国際的に合意された気候指標に基づく統一されたアプローチを使用して、世界中の極端な気候パラメータの解析を開発した。極値の解析は WMO によって組織された地域の気候変動ワークショップによって促進され、現在も大きく促進されている。

IV-2. 数十カ所の国内研究センターが、複雑さの異なる独自の全球及び/又は領域気候モデルを開発し、それを稼働している。一般的に、これらのセンターは専用のウェブサイトを導入し、予想される利用者が、特に適応という目的で気候シミュレーションをどのように活用すればよいかを見つけられる方法で出版物を作成している。

IV-3. 今後数十年及び数世紀の地球規模及び地域的な気候変動を評価するための世界規模の調整は IPCC の責務である。気候予測は、世界の社会及び経済のさまざまな発展経路に対応する、温室効果ガス及びエアロゾルの排出量に関する国際的に合意された一連のシナリオ (排出シナリオに関する特別報告書) に依存する。IPCC の第 4 次評価報告書のためのモデル計算の多くによって、モデルがどれだけ正確に極値をシミュレートするかの妥当性を確認するための基準を提供するために、WMO/世界気候研究計画/海洋学と海洋気象学のための WMO-IOC 合同技術委員会の気候変動検出・指標専門家チームによる気候データの一部が算出された。これらの指標の予想される変化は、将来の気候極値の変化の指標である。

IV-4. 現状の知見を反映する統合報告書は、評価報告書として IPCC によって発表されている [IV-1] 及び [IV-2]。これらの報告書には、地球規模及び地域規模の平均値と極値の両方を網羅する気候パラメータ及び指標の観測され、かつ複数のモデルにより予測された変化が含まれる (表 IV-1)。これらの報告書は IPCC のウェブサイトで入手できる。

IV-5. 力学的方法と統計的方法の両方を使用するダウンスケーリング技法は、大きなスケールの情報をより小さなスケールで卓越する特定の条件に適合させるために開発されてきた。

IV-6. デジタル形式での気候モデル出力の入手を容易にすることを目的とした複数のモデルによるデータセットのアーカイブ化が世界気候研究計画によって実行されている。

IV-7. 最後に、IPCC 第 4 次評価報告書で述べられているように、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」、そして「20 世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、観測されている人為起源の温室効果ガス濃度の増加によってもたらされた可能性が非常に高い」ことを思い起こすことが重要である。

IV-8. 人為的な気候変動の問題は、特に IPCC と国連気候変動枠組条約の下で引き続き国際レベルで継続して議論されることになる。



## 全般的な傾向

IV-9. 世界平均での次のパラメータの変動は、全般的な方向性と考えらるべきである（1980～1999年を基準とした2090～2099年の差）。

- 気温の上昇：最良の推定値で1.8～4.0℃（気候モデルにより応答が異なることを考慮して各シナリオにおける可能性の高い不確かさの範囲を含めると1.1～6.4℃）
- 平均海面水位の上昇：18～59 cm

IV-10. しかし、これらの世界平均には広範な地理的変動性が隠されている。より妥当な推定値（特に、気候の極値と指標について）は、次の事項を十分考慮したうえで、気候変動政府間パネルの複数のモデルによる気候シミュレーションとそれからダウンスケールされた地域情報を使用して評価されなければならない。

- 2030年までの気候変動とその影響の予測は比較的シナリオに依存しないが、2050年頃以降は、シナリオとモデルに強く依存し、改善された予測を得るためには不確かさの原因の理解を深めることが必要となる。
- 予測の信頼度は、いくつかの変数（例えば、温度）では他の変数（例えば、降水量）よりも高く、また、より大きな空間スケールと長い平均期間の方が高い。
- 局地的な影響の推定は、特に降水量に関しては、気候変動の地域的予測に関する不確かさによって妨げられる。
- リスクに基づいた意思決定のアプローチに必要とされる低確率高影響事象の理解は一般的に限られている。

IV-11. 定期的に更新される気候変動の情報により、次のことが可能となる。

- どのような種類の変化が既に起きているか、どのような種類の変化がどこでいつ起きる可能性があるかのより良い識別
- 関連する不確かさを伴う予想される変化（最初に温度関連のパラメータ）の大きさのオーダー推定の改善。例えば、いくつかの研究では、21世紀末に対応する値を用いて推定を行うと、非常に極端な事象の再現期間が約1,000分の1に大幅に減少することが示されている。一例として、2003年夏の西欧における高温は、現在の気候条件では2,000～3,000年の再現期間と推定されたのに対し、21世紀末までの値と不確かさを考慮して推定を行うと、わずか2～3年となる場合がある。

表 IV-1. 20 世紀後半の傾向が観測された極端な気象事象の最近の傾向、傾向に対する人為影響の評価及び予測 [IV-1, IV-2]

現象及び傾向	傾向が 20 世紀後半 (主に 1980 年以降) に起こった可能性	観測された傾向に対する 人間の寄与の可能性	排出シナリオ特別報告書のシナリオを用いた 21 世紀の予測に基づく傾向の継続可能性
ほとんどの陸域で寒い日中や夜間の 減少と寒さの減少	可能性が非常に高い	可能性が高い	ほぼ確実
ほとんどの陸域で暑い日中や夜間の 頻度の増加と昇温	可能性が非常に高い	可能性が高い(夜)	ほぼ確実
継続的な暖気/熱波 ほとんどの陸域で頻度の増加	可能性が高い	どちらかと言えば 可能性が高い	可能性が非常に高い
大雨 ほとんどの地域で頻度(及び総降水 量に占める大雨による降水量の割 合)の増加	可能性が高い	どちらかと言えば 可能性が高い	可能性が非常に高い 2100 年まで降水量は高緯度地域で増加する 可能性が非常に高い一方で、ほとんどの亜熱 帯の陸域では減少する可能性が高く、最近の 傾向で観測されたパターンが継続

表 IV-1. 20 世紀後半の傾向が観測された極端な気象事象の最近の傾向、傾向に対する人為影響の評価及び予測 [IV-1, IV-2]  
(続き)

現象及び傾向	傾向が 20 世紀後半 (主に 1980 年以降) に起こった可能性	観測された傾向に対する 人間の寄与の可能性	排出シナリオ特別報告書のシナリオを用いた 21 世紀の予測に基づく傾向の継続可能性
干ばつの影響を受ける地域の増加 (かつ水の可用性が減少)	多くの地域で 1970 年代以 降可能性が高い	どちらかと言えば 可能性が高い	可能性が高い
極端な高潮位の発生の増加 (津波を含まない)	可能性が高い	どちらかと言えば 可能性が高い	可能性が高い
温帯低気圧 <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 頻度と位置の変化</li> </ul>			可能性が高い (大気海洋結合大循環モデルの予測と整合)  温帯低気圧の総数の減少  特に冬期における暴風雨の進路とそれに伴 う降水の極方向へのわずかな移動

表 IV-1. 20 世紀後半の傾向が観測された極端な気象事象の最近の傾向、傾向に対する人為影響の評価及び予測 [IV-1, IV-2]  
(続き)

現象及び傾向	傾向が 20 世紀後半 (主に 1980 年以降) に起こった可能性	観測された傾向に対する 人間の寄与の可能性	排出シナリオ特別報告書のシナリオを用いた 21 世紀の予測に基づく傾向の継続可能性
ー 暴風雨の強さと風の変化			<p>可能性が高い (大気海洋結合大循環モデルの予測と整合。ただし、全てのモデルについて明示的に解析されてはいない)</p> <p>強い低気圧の増加と、特に冬期において、北大西洋、中欧、ニュージーランド南島でそれに伴う強風の増加</p> <p>どちらかと言えば可能性が高い</p> <p>北欧における風の強さの増加と欧州地中海沿岸での風の強さの減少</p>

表 IV-1. 20 世紀後半の傾向が観測された極端な気象事象の最近の傾向、傾向に対する人為影響の評価及び予測 [IV-1, IV-2]  
(続き)

現象及び傾向	傾向が 20 世紀後半 (主に 1980 年以降) に起こった可能性	観測された傾向に対する 人間の寄与の可能性	排出シナリオ特別報告書のシナリオを用いた 21 世紀の予測に基づく傾向の継続可能性
<p>－ 波高の増加</p>			<p>可能性が高い (温帯低気圧の予想される変化に基づく)</p> <p>解析されたほとんどの中緯度地域、特に北海 において高い波の発生が増加</p>

注：可能性と発生/結果の可能性に関する IPCC の用語：

ほぼ確実	99%を越える確率
可能性が極めて高い	95%を越える確率
可能性が非常に高い	90%を越える確率
可能性が高い	66%を越える確率
どちらかと言えば可能性が高い	50%を越える確率
どちらも同程度	33～66%の確率
どちらかと言えば可能性が低い	50%未満の確率
可能性が低い	33%未満の確率
可能性が非常に低い	10%未満の確率
可能性が極めて低い	5%未満の確率
ほぼあり得ない	1%未満の確率

## 添付資料 IV の参考文献

- [IV-1] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva (2007) 104.
- [IV-2] SOLOMON, S., et al., Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge (2007),  
<http://www1.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>

## 基準案の作成と査読の協力者

Bagchi, G.	Nuclear Regulatory Commission, United States of America
Bessemoulin, P.	METEO-FRANCE, France
Chen, P.	World Meteorological Organization
Cook, C.	Nuclear Regulatory Commission, United States of America
Godoy, A.	International Atomic Energy Agency
Harvey, R.B.	Nuclear Regulatory Commission, United States of America
Imamura, F.	Tohoku University, Japan
Kammerer, A.	Nuclear Regulatory Commission, United States of America
Mahmood, H.	Pakistan Atomic Energy Commission, Pakistan
Rebour, V.	Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety, France
Riera, J.	Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil
Sakai, T.	Tokyo Electric Power Company, Japan
Satake, K.	University of Tokyo, Japan
Schindel�, F.	Commissariat � l'�nergie atomique et aux �nergies alternatives, France
Sollogoub, P.	International Atomic Energy Agency
Thuma, G.	Gesellschaft f�r Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH, Germany
Uchiyama, Y.	Japan Nuclear Energy Safety Organization, Japa

※この協力者一覧は、正本に記載のあるものを転記したものであり、これらの協力者は日本語翻訳版の作成には一切関係はありません。